

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electromecánica



Holcim Costa Rica

*Propuesta de rediseño del sistema de control del
generador de gases calientes del molino de puzolana*

Informe de Práctica de Especialidad para optar para el título Ingeniero en
Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura

Leonardo Fernández Fernández

Cartago

Noviembre, 2017

Hoja de información

Información del estudiante:

Nombre: Leonardo Fernández Fernández

Cédula: 115510508

Carné: 201270156

Residencia: San Rafael Abajo, Desamparados, San José

Teléfono: +506 8527 9794

E-mail: leiuxff@gmail.com, leoff_2010@hotmail.com, l.f.cr@ieee.org

Información del proyecto:

Propuesta de rediseño del sistema de control del generador de gases calientes del molino de puzolana.

Asesor académico: Ing. Luis Gómez Gutiérrez

E-mail: lugomez@tec.ac.cr

Horario de trabajo del estudiante: lunes a viernes de 7:00 am a 5:00 pm

Información de empresa:

Nombre: Holcim Costa Rica

Dirección: Cartago, Agua Caliente, Tribunales de Justicia 5 Km al sur

E-mail: agustin.viquez@lafargeholcim.com

Actividad: Empresa Cementera

Dedicatoria

Primero a mis padres Marta y Carlos, mis más grandes ejemplos a seguir, los que me guiaron por el buen camino y siempre me han apoyado en todo, pero de manera especial a mi mamá, cada logro que he obtenido ha sido de ella también, cada paso que he dado ella lo dio conmigo, cada granito de arena que me ofreció fue el pilar esencial de mi vida y formación.

A mi familia, eternamente agradecido por estar durante mi crecimiento profesional y personal, a todos mis hermanos Jessica, Carlos, Esteban, Luis y Daniela que son ejemplo de esfuerzo y superación, mis sobrinas y sobrinos Nadyeri, Adriano, Danilo y Luciana, que son una gran fuente de inspiración para salir adelante y para brindarles mi ayuda e interés en todo lo que la vida les interponga, a mis tíos Isabel, Greivin, Carmen y Cecilia que son como padres para mí, tratándome como un hijo más al cual aconsejar y cuidar.

A cada persona que ha creído en mí, me ha acompañado en los buenos y malos momentos y me formaron como mejor ser humano, a todos les dedico el esfuerzo y perseverancia en esta etapa.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico de Costa Rica, donde se me brindó la oportunidad de formarme como un ingeniero responsable, crítico y cooperador para poder contribuir con la sociedad y el país, de manera especial a la profesora Ana Lucía Morera, con la que estoy bastante agradecido por la confianza para oportunidades de asistencia, capacitación y crecimiento profesional que me ha brindado durante años, a mi profesor guía, Luis Gómez, que me ha aconsejado para poder realizar un proyecto adecuado, proponiendo siempre mejorarse a uno mismo, para poder desarrollar todo el potencial con el que uno cuenta, y a todos los funcionarios dentro de la institución que se preocupan por el desarrollo integral de los estudiantes.

A mis amigos, amigas del Tec y de la vida con los que tuve que superar grandes retos y compartí grandes momentos durante varios años.

A Holcim Costa Rica por demostrar confianza al abrirles sus puertas a estudiantes del Tec para que puedan terminar su último requisito de graduación, en proyectos de gran importancia y en donde muestran interés desde misceláneos, terceros, técnicos, operadores y gerentes, todos siempre con la gran disposición de ayuda a pesar de que estuviesen ocupados, especialmente al asesor industrial Agustín Víquez, por su guía, al Ingeniero Adán Mora, por todos los consejos y recomendaciones, y a todos los del departamento de Proyectos y producción de la empresa.

Tabla de contenido

HOJA DE INFORMACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
TABLA DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	1
1.1 HISTORIA	2
1.2 MISIÓN	3
1.3 VALORES.....	3
1.3.1 <i>Fortaleza</i>	3
1.3.2 <i>Desempeño</i>	3
1.3.3 <i>Pasión</i>	3
1.4 ORGANIGRAMA	4
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	5
2.1 INTRODUCCIÓN	6
2.2 OBJETIVOS	7
2.2.1 <i>General</i>	7
2.2.2 <i>Específicos</i>	7
2.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	8
CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE.....	12
3.1 CEMENTO	13
3.1.1 <i>Generalidades</i>	13
3.1.2 <i>Componentes del cemento</i>	13

3.1.2.1 Clínter	13
3.1.2.2 Yeso.....	14
3.1.2.3 Puzolana.....	14
3.1.3 <i>Proceso de producción</i>	15
3.2 MOLIENDA	16
3.2.1 <i>Generalidades</i>	16
3.2.2 HGG.....	17
3.2.3 <i>Molinos</i>	18
3.2.3.1 Molino horizontal / de bolas.....	18
3.2.3.2 Molino vertical de rodillos.	19
3.2.3.3 Molino de prensa de rodillos	19
3.2.4 <i>Filtro</i>	20
3.3 GENERADOR DE GASES CALIENTES (HGG).....	21
3.3.1 <i>Generalidades</i>	21
3.3.2 <i>Partes que lo componen</i>	21
3.3.3 <i>Combustión</i>	22
3.3.3.1 Poder calorífico	27
3.3.4 <i>Funcionamiento</i>	28
3.4 PID.....	29
3.4.1 <i>Generalidades</i>	29
3.4.2 <i>Funcionamiento</i>	30
3.4.2.1 Constante P	30
3.4.2.2 Constante I	31
3.4.2.3 Constante D	31
3.4.3 <i>Componentes entrada/salida</i>	31
3.4.4 <i>Ejemplos prácticos</i>	32
CAPÍTULO 4. INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.....	34
4.1 GENERALIDADES.....	35
4.2 RECOPIACIÓN DE DATOS	35
4.2.1 <i>Lógica de control</i>	35
4.2.2 <i>Diagramas eléctricos</i>	39
4.2.3 <i>Otra información</i>	41
4.2.3.1 Disco compacto con información relevante.....	41
4.2.3.2 Software Lintools	41

4.2.3.3 Pruebas conexión a controladores.....	42
4.3 ANÁLISIS DE DATOS	43
4.3.1 Comprobación de señales	43
4.3.2 Discrepancias encontradas – tabla I/O.....	44
CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA.....	49
5.1 GENERALIDADES.....	50
5.2 ESTRATEGIA DE CONTROL	50
5.3 FUNCIONAMIENTO.....	55
5.3.1 Temperatura primaria de dilución	55
5.3.2 Temperatura secundaria de dilución	57
5.3.3 Aumento de temperatura	59
5.3.4 Carga.....	61
5.3.5 Puntos de ajuste	64
5.3.6 Aire de combustión	71
5.3.7 Flujo de aceite.....	75
5.3.8 Atomizador	77
5.4 MEJORAS A FUTURO.....	78
CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN EFICIENCIA COMBUSTIÓN	80
6.1 GENERALIDADES.....	81
6.2 CONSIDERACIONES.....	81
6.3 EFICIENCIA	85
6.4 POSIBLES MOTIVOS DE LA EFICIENCIA	86
CAPÍTULO 7. PROPUESTA DE REDISEÑO	90
7.1 GENERALIDADES.....	91
7.2 INTERCAMBIADOR DE CALOR – PROPUESTA 1	91
7.3 ANALIZADOR DE GASES – PROPUESTA 2	92
7.4 PROPUESTA DE REDISEÑO PARA EL CONTROL ESCOGIDA	94
7.4.1 Función aire nuevo (para aire estequiométrico)	95
7.4.2 Función carga nueva (para Carga real)	99
7.5 ESTADO ACTUAL VERSUS PROPUESTA	103
7.5.1 Mantenibilidad.....	103
7.5.2 Flexibilidad	103

7.5.3 Eficiencia	104
7.5.4 Rentabilidad.....	104
CAPÍTULO 8. ANÁLISIS FINANCIERO	105
8.1 GENERALIDADES.....	106
8.2 DATOS PROPORCIONADOS	106
8.3 PÉRDIDAS POR EFICIENCIA.....	107
8.4 COTIZACIÓN EQUIPO.....	107
8.4.1 Analizador de gases de combustión.....	108
8.4.2 Medidor de flujo volumétrico.....	108
8.5 CÁLCULO DE PERIODO RECUPERACIÓN.....	108
CONCLUSIONES	111
RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFÍA	113
ANEXOS	117
APÉNDICES	184

Índice de tablas

Tabla 1. Datos producción puzolana.....	10
Tabla 2. Distribución aire de combustión	25
Tabla 3. Abreviaciones para diagramas P&ID	47
Tabla 4. Bloques para diagrama de control	52
Tabla 5. Datos promedio del funcionamiento molino puzolana.....	82
Tabla 6. Densidad gases normalizados	84
Tabla 7. Resumen cálculo de eficiencia.....	85
Tabla 8. Precio carbón y aceite.....	107
Tabla 9. Resumen costo equipo	108
Tabla 10. ROI en función de la eficiencia subida	110
Tabla 11. Protocolos de campo en la industria	128
Tabla 12. Símbolos NEMA para lenguaje escalera.....	133

Índice de figuras

Figura 1. Logo Holcim.....	2
Figura 2. Organigrama de Holcim.....	4
Figura 3. Molino horizontal/de bolas	18
Figura 4. Molino vertical de rodillos.....	19
Figura 5. Molino de prensa de rodillos	20
Figura 6. Combustión ideal	24
Figura 7. Combustión con exceso de aire.....	25
Figura 8. Variación llama con aires de combustión.....	26
Figura 9. Esquema básico PID	29
Figura 10. Error vs Tiempo PID	30
Figura 11. Entradas/Salidas de PID.....	32
Figura 12. Pantalla T640.....	40
Figura 13. Terminales de controlador T640	43
Figura 14. I/O controlador 1	45
Figura 15. I/O controlador 2	46
Figura 16. Diagrama de la estrategia de control – No normalizado	51
Figura 17. Temperatura air dilución primaria	55
Figura 18. Temperatura dilución primaria Unity	56
Figura 19. Temperatura aire dilución secundaria.....	57
Figura 20. Temperatura dilución secundaria Unity.....	58
Figura 21. Aumento temperatura	59
Figura 22. Aumento de temperatura Unity	60
Figura 23. Carga	61
Figura 24. Carga Unity	63
Figura 25. Puntos de ajuste	64
Figura 26. Puntos de ajuste Unity.....	70
Figura 27. Aire combustión	71
Figura 28. Aire de combustión Unity	74

Figura 29. Flujo de aceite	75
Figura 30. Flujo de aceite Unity	77
Figura 31. Regulación atomización	77
Figura 32. Regulación atomización Unity	78
Figura 33. Flujo de aire normalizado del molino de puzolana	83
Figura 34. HGG.....	87
Figura 35. Eficiencia combustión VS exceso de aire	88
Figura 36. HGG con intercambiador	91
Figura 37. HGG con analizador de gases.....	93
Figura 38. Función aire nuevo	95
Figura 39. Diagrama de flujo rutina aire nuevo	98
Figura 40. Función carga nueva	99
Figura 41. Diagrama de flujo rutina carga nueva	102
Figura 42. Costos del proyecto	109
Figura 43. Evaluación financiera del proyecto	110
Figura 44. Sistema de cableado convencional versus Bus de Campo	127
Figura 45. Topología anillo	129
Figura 46. Topología Estrella	129
Figura 47. Topología árbol.....	130
Figura 48. Esquema programación escalera	134
Figura 49: Ejemplo programación bloques	135
Figura 50. Ejemplo programación Grafcet	136

Resumen

La forma en que realizan las cosas en Holcim es tan importante como lo que hace, por lo que es de gran necesidad el conocer el funcionamiento específico de todos los sistemas para traer mejoras a futuro en la producción.

Para la empresa el sistema de regulación del generador de gases calientes del molino de puzolana es el único sistema del que desconocen su funcionamiento total y al que no pueden cambiar debido a las condiciones de dependencia que los dejó la empresa Pillard, que fue la implementadora del sistema.

Se desarrolló toda una investigación de funcionamiento, recopilación de información y caracterización del sistema que deja a Holcim en un estado de más entendimiento con posibilidad de migración hacia nuevas posibilidades de modernización.

Se tomó como ventaja el hecho que se tuvo que analizar el funcionamiento actual para de forma paralela encontrar fallas, analizar la eficiencia del sistema y así realizar cierto tipo de mejoras en forma de recomendación. Estas mejoras se tomaron de base para un rediseño de una propuesta con algún tipo de equipo que mejore la combustión del equipo, volviendo al sistema más inteligente y eficiente.

Palabras clave: Combustión, estequiometría, control automático, rutina, consigna, sensor, eficiencia.

Abstract

The way Holcim does the things are as important as what they do, so is especially important to know the specific operation of all the systems to bring future improvements in production.

To Holcim, the system of regulation of the hot gas generator from the pozzolana mill is the only one which they don't know its total operation and which they can't change due to the dependence's conditions that the company Pillard left them, Pillard was the system's implementer.

A whole operation's research was developed, information's collection and characterization of the system leaves Holcim in a state of more knowledge, with the possibility of migration towards new possibilities of modernization.

The fact that the actual operation had to be analyzed for a description gave an advantage which led a faults and efficiency analysis and the opportunity to make improvements for recommendations. These improvements became the basics for the proposal of a redesign including new equipment, that was all part of the combustion enhancement, making the system smarter and more efficient.

Key words: Combustion, stoichiometry, automatic control, routine, setpoint, sensor, efficiency.

Capítulo 1.
Generalidades de la empresa

1.1 Historia

Según la inducción recibida por la empresa “Holcim Costa Rica es la empresa considerada líder en el suministro de cementos y agregados (piedra caliza, arena y grava) así como otros materiales como concreto ready-mix y combustibles alternativos del país, seguida de Grupo Orosí y de CEMEX. Forma parte del Grupo Holcim, administrado por la Asociación Solidarista de Empleados del Grupo Holcim (ASEGrupoHolcim)”.



Figura 1. Logo Holcim

Anteriormente llamada como Industria Nacional de Cemento S.A., (INCSA), fue renombrada en el 2003 como Holcim al ser comprada por el Grupo Holderbank con su base operacional en Zúrich, Suiza.

A nivel mundial, Holcim es la cementera más grande proveyendo de cemento, agregados, concreto premezclado y otros servicios seguida de Lafarge y CEMEX. El grupo está presente en más de 70 países en todos los continentes y emplea alrededor de 90.000 personas. La estrategia de Holcim se caracteriza por la sostenibilidad, garantizando la generación de valor en el largo plazo, en armonía con el progreso ambiental y social.

Es considerado como uno de los principales productores y proveedores de cemento, agregados, concreto y morteros de Costa Rica. Se caracteriza por el constante desarrollo de nuevos productos y servicios. Para tal efecto, cuenta con tecnología de punta en todos sus procesos y un equipo humano altamente calificado.

La filosofía de trabajo de Holcim (Costa Rica) S.A. descansa en sus valores: Fortaleza. Desempeño. Pasión.

Holcim Costa Rica, está conformada por más de 1200 colaboradores e integra cuatro áreas de negocio, Cemento, Agregados, Concreto Premezclado y Productos de

Concreto. Tiene instalaciones en las provincias de Alajuela, Cartago, San José y Limón. Cuenta con más de 400 distribuidores.

1.2 Misión

“Ser la empresa más respetada y atractiva en nuestra industria, creando valor para todos nuestros grupos de relación.”

1.3 Valores

1.3.1 Fortaleza

“Se refiere a lo resistentes que son nuestros dos principales productos: el cemento y el concreto. También hace referencia a la calidad de nuestra gente y a la fuerza de nuestra organización, con años de conocimientos y experiencia”.

1.3.2 Desempeño

“Habla de nuestros logros pasados y de nuestros éxitos futuros, de las nuevas y valiosas soluciones que damos a nuestros clientes, así como de nuestra eficiente acción financiera”.

1.3.3 Pasión

“Señala el espíritu y la vitalidad de nuestra empresa. Se refiere también a nuestra permanente pasión por aprender y a que ponemos el corazón en lo que hacemos, con el propósito de satisfacer a nuestros clientes”.

1.4 Organigrama

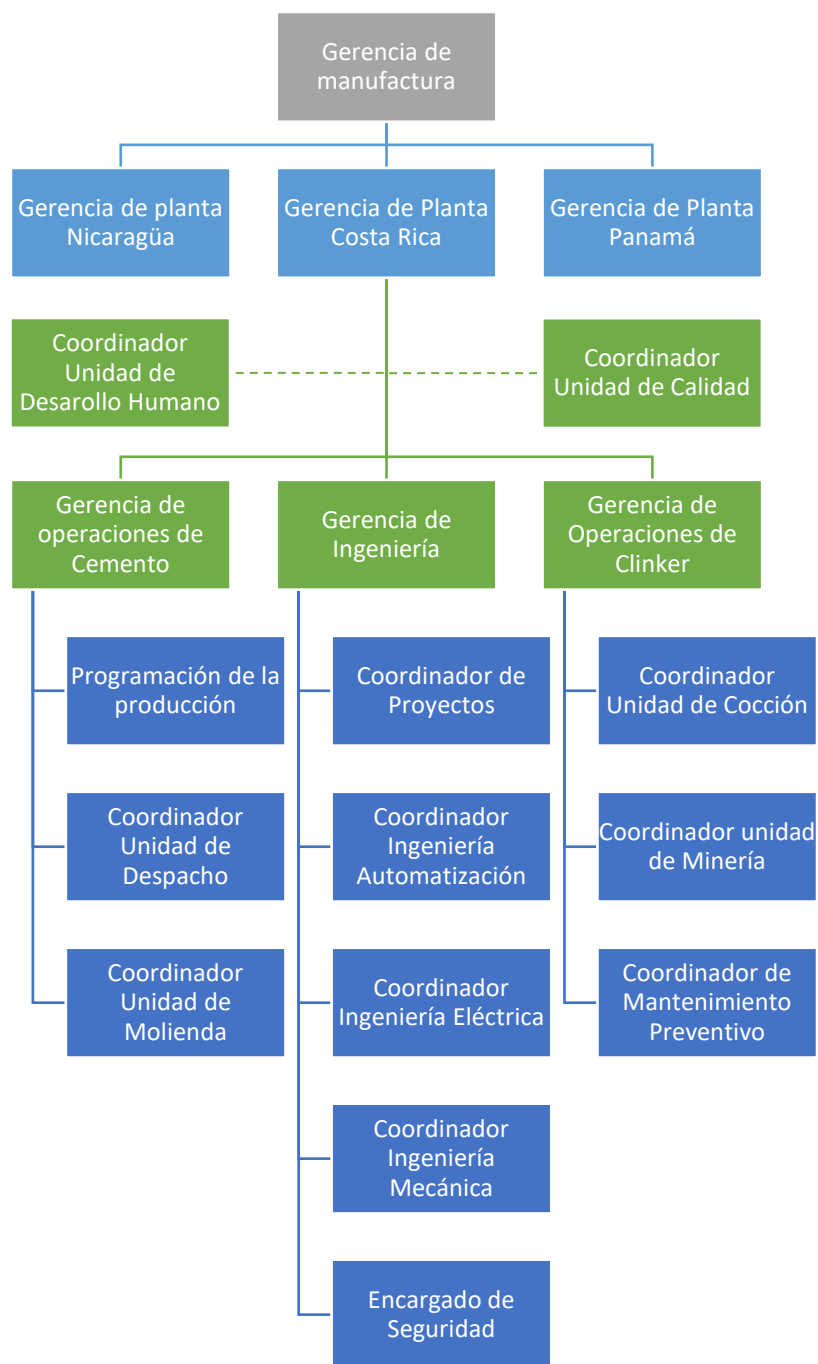


Figura 2. Organigrama de Holcim

Fuente: (Holcim (Costa Rica) S.A, 2016)

Capítulo 2.

Descripción del proyecto

2.1 Introducción

Holcim al ser una empresa pionera en procesos automatizados de Costa Rica está en constante modernización y mejora de sus técnicas industriales, en este caso el molino de Puzolana que cuenta con un gran problema de flexibilidad con el usuario y en su sistema de regulación para el generador de gases calientes, que seca la puzolana, usada como aditivo del cemento.

El proyecto desarrolla toda una descripción de las características del sistema de control automático del generador de gases calientes del molino de puzolana para su posterior modernización, así como para parametrización en futuros proyectos, también muestra una propuesta de rediseño con base a las necesidades actuales.

La necesidad nace debido a quejas y necesidades mayormente del departamento de producción, ya que no pueden realizar varios tipos de maniobras que ayudan a mejorar la producción y el mantenimiento del equipo, debido a que la empresa implementadora del sistema Pillard los dejó con la máquina funcional, pero sin una explicación del cómo ni del porqué, para poderse asegurar que cada vez que fallara se contratara el servicio técnico.

El impacto radica en flexibilidad de operación, mayor confiabilidad para el funcionamiento, así como una mejora de eficiencia reflejada en un ahorro económico.

2.2 Objetivos

2.2.1 General

- a. Describir las características del sistema automático del generador de gases calientes para la modernización y parametrización del molino de puzolana de la empresa Holcim Costa Rica

2.2.2 Específicos

- a. Establecer la base actual de funcionamiento de los quemadores de gases calientes que se utilizan para varios tipos de combustibles usados de forma única o combinada para obtener las bases teóricas necesarias.
- b. Describir las características actuales del sistema de control por medio de una estrategia de diagrama lógico en forma normalizada para la posterior migración del sistema a uno más actual y parametrizable.
- c. Proponer mejoras en el sistema automático para aumentar la eficiencia de combustión.
- d. Justificar la viabilidad económica del proyecto en la parte de modernización del sistema automático del generador de gases calientes.

2.3 Definición del problema

Holcim es una es una empresa que está en constante actualización tanto en sus procesos, fórmulas para cemento, y muy importante la maquinaria que se encarga de la producción de sus productos, esto para adaptarse a un mercado laboral muy competitivo y que en la actualidad liderados por ellos a nivel mundial (LafargeHolcim).

El departamento de proyectos en conjunto con el departamento de mantenimiento (más específicamente la parte de Automatización) desde hace tiempo han estado analizando la renovación de una de sus máquinas, específicamente en el molino de Puzolana, entre sus partes más importantes y antiguas se encuentra el generador de gases calientes. Este lleva en operación desde el 2004, siempre ha demostrado un buen rendimiento debido al correcto mantenimiento que ha recibido y a sus posteriores adaptaciones a las necesidades.

Tomando en cuenta estos aspectos se tienen las siguientes situaciones:

- a. Actualmente el molino cuenta con dos PLCs y un par de controladores que se encargan del control de combustión específicamente, pero las señales que usa para sus cálculos no se pueden rastrear desde un dispositivo remoto en la red, como sí se puede realizar con los PLCs. Esto es así debido a que los controladores únicamente intercambian algunas señales de manera predeterminada (tipo alarmas y otras señales digitales) y que no permiten estar en constante actualización dentro de la red industrial, esto se queda corto a la necesidad de los departamentos para así poder tener un control total de proceso de combustión.
- b. Los dispositivos, de marca Eurotherm T640, fueron instalados por una empresa en el 2004; realizan un control de combustión para el generados de gases calientes (HGG de aquí en adelante), con base a los datos recibidos, lo único que se envía es un bit de arranque/ pare, un porcentaje de carga de carbón, así el sistema hace sus cálculos de regulación y curvas de calentamiento respecto al porcentaje de carga y regresa un bit de falla general/run. Se cuenta con dos

unidades debido a que una se encarga de controlar el aire que entra al HGG y el segundo de regular los combustibles. Los departamentos quieren tener acceso a estas señales desde el PLC directamente, así como controlarlas, ya que ellos están acostumbrados a los demás sistemas que sí permiten un control manual para realizar cierto tipo de maniobras, de hecho, los operadores dicen que ese sistema es difícil de manejar, por ejemplo, a un sistema que ellos puedan controlar se agrega el aire que se quiera en el proceso, porcentajes de combustible, porcentajes de apertura de válvulas, entre otras.

- c. Si las válvulas presentan algún problema necesitan pasar a un modo manual para poderlas arreglar, en otros sistemas ellos indican el porcentaje de apertura logrando controlar la situación, esto suele ocurrir cuando la presión de la bomba sufre alguna variación de presión, el sistema se descontrola y se vuelve inestable, puede causar que el molino se detenga. La situación suele ocurrir 4 o 5 veces al año y se arreglaría si el sistema fuera flexible.
- d. En los arranques puede que no se necesite regulación debido a una necesidad de arranque rápido, si ellos suben o bajan el porcentaje de carga la respuesta del sistema es demasiado lenta, aproximadamente 5 minutos, esto debido a que el sistema calcula toda una curva de calentamiento.
- e. La empresa Pillard, que instaló todo el sistema, cuando lo implementó no explicó con detalle el funcionamiento del mismo, que sería imprescindible para el auto mantenimiento, no dejó información al respecto, simplemente lo necesario para asegurarse una dependencia, en el caso que fallara, por medio de la contratación del servicio técnico de ellos, y asegurarse un pago bien alto ya que son los únicos que conocen a fondo su funcionamiento.
- f. Si el sistema fallara, actualmente no se cuenta con algún reemplazo de alguno de estos dispositivos, no se conoce cómo regulan, no se sabe cómo están programados, no se tiene conocimiento del protocolo de conexión que usan, no se tiene equipo para conectarse ni algún software en donde se pudiese descargar la configuración actual, estando en un desconocimiento total que imposibilita la adquisición de datos, el control de señales y posibles mejoras.

- g. Una posible falla causaría que los ingenieros tengan que correr por aproximadamente 3-4 días completos para poder reemplazar el sistema, dejando de lado otras tareas importantes, para crear uno nuevo, el que no se asegura que funcione igual. Se debe de hacer así porque no tienen el tiempo necesario para realizar una investigación adecuada. Otra solución para un posible fallo es la contratación de Pillard para su remplazo, que según el departamento de proyectos puede andar en una inversión necesaria de aproximadamente 150 000\$ que de igual forma los dejaría dependientes de esta empresa y la necesidad más importante es eliminarlos por completo.
- h. La puzolana es un aditivo mineral natural que se puede agregar en vez del clínker, siendo este último es el más caro de producir en todo el proceso del cemento (aproximadamente 3 veces lo que valen los demás), el porcentaje de clínker en el cemento puzolánico es relativamente bajo respecto a otros cementos, de aproximadamente 60% y un 30% de puzolana, reduciendo los costos de producción para este cemento, si hubiera un faltante de puzolana se tendría que reducir su porcentaje y aumentar el de clínker aumentando el precio.
- i. Según esos datos aproximados en lo que tardarían arreglando el sistema y los datos de producción que se muestran:

Tabla 1. Datos producción puzolana

Molino puzolana	Indicadores	Unidad	Enero-17	Febrero-17	Marzo-17	Abril-17	Mayo-17	Junio-17	Agosto-17
	Producción	t	7489	7469	12415	8350	9787	9926	10453
	Horas	h	208	195	341	255	270	279	295
	Energía eléctrica	kWh	347665	318978	518386	380	437458	422198	465059
	Fallas	#	9	8	8	9	11	6	5
	Producción por hora	t/h	36	38,3	36,5	32,7	36,2	35,6	35,4
	Consumo eléctrico	kWh/t	46,4	42,7	41,8	45,5	44,7	42,5	43,6
	MTBF	h	23,1	24,4	42,6	28,4	24,6	46,5	59,1

Fuente: Departamento de producción, Holcim Costa Rica

Si la falla ocurriera un viernes, que es cuando el molino empieza, sería el peor caso, habrían 60 horas de pérdida de producción que según datos

proporcionados habría una pérdida de 2148 toneladas, los datos de producción el costo de tonelada de puzolana es de aproximadamente $22 \frac{\$}{ton}$ junto con los costos de despacho y demás son $50 \frac{\$}{ton}$.

El costo de un saco de cemento es de 10 \$ aproximado, que usualmente tienen un 40% de puzolana, costando esta 4 \$ los 20 kilos en un saco, que en la tonelada valdría 153\$.

Por lo tanto, la ganancia final, da un aproximado de $103 \frac{\$}{ton}$ y en el peor de los casos, si la máquina fallara un viernes en la noche entonces habría una pérdida por producción de 221 244\$. Todos estos datos fueron brindados por el departamento de producción.

- j. Los parámetros del controlador fueron establecidos para búnker/carbón, pero en vez de eso hoy en día usa aceite quemado/carbón pulverizado en uso tanto combinado como de manera separada, que está restringido a un uso porcentual que por ejemplo el mínimo de aceite es 300 kg/h y si a esto le suman el aporte del carbón la temperatura termina siendo muy alta para algunas necesidades, con un sistema parametrizable se pueden bajar esos porcentajes a la necesidad del combustible.
- k. Si todo funcionara perfecto los operadores arrancan y se despreocupan, pero en este tipo de sistemas hay muchas situaciones que varían el funcionamiento, por lo tanto, lo necesitan tener un mando manual, sin omitir el automático.
- l. La parametrización abre el panorama para el uso de nuevos combustibles (aceite quemado, coque, SynGas), de los cuales se tiene bastante interés y hasta la propuesta de nuevos proyectos.

Capítulo 3.

Estado del arte

En este capítulo se abarcará conceptos técnicos para el entendimiento del proceso general en la producción de cemento, funcionamiento de los molinos cementeros, producción de la puzolana y finalmente para la descripción del generador de gases calientes (HGG); lo anterior con el fin de lograr el conocimiento previo necesario.

3.1 Cemento

3.1.1 Generalidades

Hoy en día el cemento es uno de los componentes de construcción con mayor importancia en la era moderna, debido que es la base del hormigón, el material de construcción más utilizado a nivel mundial en la elaboración de edificaciones y estructuras de todo tipo. Exactamente, el cemento es el aglomerante compuesto fundamentalmente por clínker y yeso, esta mezcla se endurece al contacto con el agua en un proceso denominado fragua. El clínker resulta de la mezcla de arcilla y caliza, al adicionar yeso en una mínima proporción al clínker se obtiene lo que se conoce popularmente como cemento. Al cemento compuesto exclusivamente de yeso y clínker se le denomina cemento Portland, pero si agregan terceros componentes esta denominación varía, tal es el caso de los cementos con alto contenido de puzolana y denominados como cementos puzolánicos, los cuales son de asunto de interés en este trabajo.

3.1.2 Componentes del cemento

3.1.2.1 Clínker

Componente básico del cemento, dependiendo del tipo de cemento que se produzca así varía el factor utilizado, se obtiene de la piedra caliza pulverizada luego que sufre un proceso químico llamado calcinación junto a la arcilla a altas temperaturas, que son entre 1350 °C a 1450 °C. El proceso que interesa en esta investigación ocurre en el horno rotatorio, primero se obtiene la cal pura (CaO) que viene de la piedra caliza, que al estar en un ambiente de 800 °C a 1000 °C por medio de la reacción de carbonatación se divide en dióxido de carbono (CO₂) y la cal pura

esto se observa de mejor forma en la fórmula (3.1).

Este proceso de descomposición dentro del horno se mezcla con arcilla y caliza, además de la energía aportada por el calor producen la clinkerización de los componentes mencionados y formando el clíner, este tiene la característica de una velocidad de fraguado bastante rápida cuando se mezcla con el agua, por lo tanto, para desacelerar este fenómeno se adiciona otros componentes, como el yeso, que logra reducir el tiempo de fraguado.



3.1.2.2 Yeso

Este es un mineral compuesto de sulfato de calcio hidratado, se emplea mayormente como aislante, como regulador de la humedad ambiente ya que absorbe parte del agua contenida en el aire de los recintos hasta alcanzar el equilibrio y luego la libera cuando el medio carece de esta, se usa por ser un mal combustible para el fuego prologando su resistencia ante algún incendio, absorbe las ondas sonoras de un medio, logrando reducir la emisión de estas. Esto ocurre debido a su composición química y elasticidad y también se usa debido a que no emite olores o sustancias al estar en contacto con el fuego.

Generalmente se usa para retardar la fragua, permitiendo alargar el tiempo de manejo de las mezclas de cemento, agua y áridos, y evitar que este fragüe rápidamente en lugares donde no se quiere, como batidoras y recipientes de traslado.

El factor usual de yeso que se agrega a la molienda de clíner ronda el 3% del total del cemento.

3.1.2.3 Puzolana

Mineral compuesto mayormente de silicio, aluminio, óxidos de hierro, entre otros, debido a su composición química, aparte que al combinarse con agua y cal tienden a obtener un comportamiento similar al cemento convencional, se utiliza de forma usual

como un componente sustituto de la fórmula de algunos tipos de cementos puzolánicos.

Usualmente se obtiene de diferentes formas y procesos, uno de ellos es por medio de cenizas volcánicas, en donde se extraen de yacimientos originados por la actividad de algún volcán, de esta forma es como actualmente Holcim obtiene su puzolana.

3.1.3 Proceso de producción

El describir la producción de cemento se torna complejo debido a que este implica el uso de diferentes máquinas y subprocesos, por lo tanto, se explicará el proceso principal, este fue suministrado en la inducción por la misma empresa.

Este proceso empieza en las canteras o minas, en donde se extrae el mineral puro y en grandes rocas (**Anexo 1 parte 1**), se transporta hacia la planta (**Anexo 1 parte 2**) para poderlo triturar hasta reducir el tamaño de la piedra, usualmente son varios procesos de triturado hasta obtener un polvo fino de caliza o arcilla, dependiendo de la cantera de donde se obtenga (**Anexo 1 parte 3**).

Ya pulverizado, se toman muestras para su análisis químico, en donde se determina su composición ya sea por un muestreo o por un análisis en caliente dentro del proceso, se lleva el material a una estación en donde se le agregan otros compuestos de más (silicatos y óxidos de hierro), este se llama prehomogenización, esto para estabilizar la composición y garantizar la calidad adecuada de clínker que se vaya a producir, el cual es la materia prima en los tipos de cementos (**Anexo 1 parte 4**).

La mezcla cruda sigue su trayecto hacia una torre que tiene una especie de calentadores, llamados ciclones, y la llevan hasta unos 900 °C; la construcción y forma en que transfiere el calor la torre/pre-calcinador es todo un diseño en pro a la eficiencia energética del proceso de cocción del Clinker, debido a que usa el calor residual que reside en los gases residuales de escape provenientes del horno principal.

Luego de atravesar el precalcinador, el polvo caliente entra al horno de cocimiento, para elevar su temperatura hasta los 1500 °C, fundiendo los componentes y formando

lava, se mezclan estos para formar el clínker (**Anexo 1 parte 5**). Es aquí en donde la reacción química que ocurre libera una gran cantidad de CO_2 , debido a la caliza, el proceso se llama descarbonatación y separa la piedra en CaO y en CO_2 , en igual proporción de masa, por lo tanto, por cada tonelada de carbonato de calcio procesado se procesa media tonelada de CO_2 y media de CaO , siendo este uno de los procesos más contaminantes de la industria cementera, la que es inevitable.

Para poder reducir las emisiones de CO_2 y mitigar el efecto en el ambiente se reduce el factor de clínker, por medio de la sustitución de este por algún componente que se logre o posea un comportamiento parecido. Usualmente este material suele ser la puzolana, este material se extrae en minería, de la misma forma, pero no necesita un proceso de tan alta temperatura, ni genera CO_2 a la hora de su cocción, entonces reduce la emisión tan considerable de este gas de efecto invernadero.

Como último paso general, el clínker se lleva hasta un enfriador, donde se forma una piedra, se pulveriza de nuevo y en el molino correspondiente se le agregan los aditivos necesarios (yeso, caliza, puzolana, entre otros) para obtener el cemento según sea la necesidad. Finalmente se almacena en un silo y empaqueta.

3.2 Molienda

3.2.1 Generalidades

Hace algún tiempo los cementos hidráulicos solían ser blandos y se trituraban de manera fácil por los molinos de la época, que eran planos. Con la aparición del cemento Portland se creó la necesidad de una molienda más fina y difícil, esto porque el clínker que se produce es tan duro como el material de piedra del molino, por esta razón el cemento siguió siendo triturado de forma gruesa (20% sobre el diámetro de una partícula de $100\ \mu\text{m}$) hasta la mejora en la tecnología de molienda.

El desarrollo del acero especializado llevó a moler el cemento de una manera no convencional, y desde ahí la finura del cemento se mejoró, esto implicó que la resistencia del cemento Portland aumentara cuatro veces más porque hubo una

reducción progresiva en la proporción de partículas más grandes y no reactivas. También los molinos sufrieron mejoras respecto a la reducción del consumo de energía en su proceso (Hewlett, 1998).

La molienda suele ser un proceso intermedio dentro de todo un conjunto que forman parte de la obtención del polvo requerido, en los otros subprocesos se usan diferentes tipos de máquinas que dependen del tipo de molienda, del material que se vaya a moler y de otros aspectos. De manera general se habla de tres componentes importantes, el generador de gases calientes (HGG), el molino y el filtro, siguiendo el orden respectivo dentro del proceso.

3.2.2 HGG

Las materias primas que se utilizan para la fabricación del clínker y del cemento, en general, tienen un contenido en humedad, que las hace no ser adecuadas para el proceso por vía seca, por tanto, han de ser secadas previamente. El contenido en humedad de las materias primas es:

- a. Caliza y puzolana, hasta el 8%
- b. Margas, hasta el 15%
- c. Arcilla y limo, hasta el 20%
- d. Escoria de horno alto, hasta el 10%

El generador de gases calientes o Hot Gas Generator (HGG) se utiliza para poder controlar la humedad con la que el material se va a moler y temperatura con la que este va a salir, estos valores van a depender de la necesidad del molino y del proceso, por ejemplo, en el molino vertical el material se necesita a cierta humedad debido a que si está muy seco a la hora de la molienda los rodillos sufren un esfuerzo mayor, reduciendo su vida útil pero si está muy húmedo se adhiere a las paredes sin salir del molino, acumulándose.

3.2.3 Molinos

Es una especie de planta de trituración de materiales que puede triturar diferente tipo de materiales, se compone de una parte de alimentación, parte de descarga, parte de ruedas y parte de conducción, existen diferentes tipos y se usan dependiendo de la necesidad y del desarrollo de la tecnología.

3.2.3.1 Molino horizontal / de bolas

Es un molino predominante en el mercado a pesar de su alto consumo energético, esto en parte debido a razones históricas y en otra parte debido a que sigue ofreciendo ventajas de operación respecto a los demás molinos. Funciona por el principio de impacto cuando caen las bolas (de acero, inoxidable, cerámico o goma) dentro del cilindro, produciendo una reducción de la partícula de cemento.

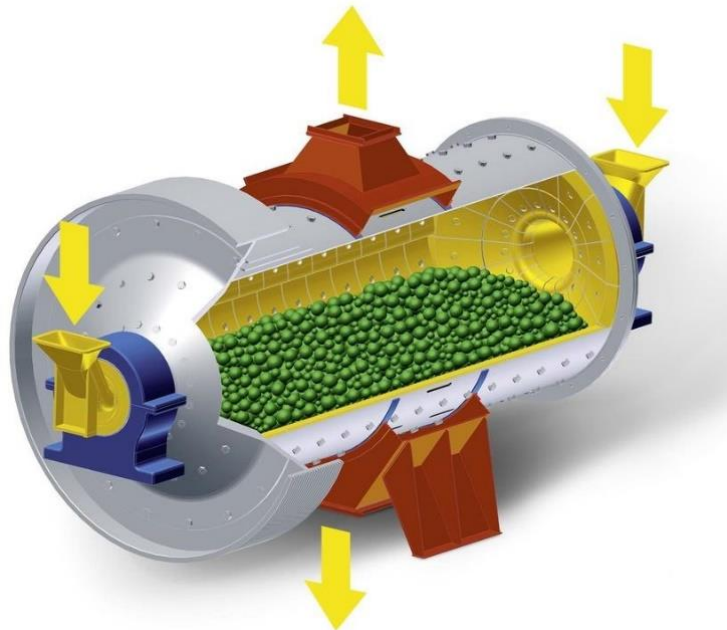


Figura 3. Molino horizontal/de bolas

Fuente: (Gebr-pfeiffer, 2017)

3.2.3.2 Molino vertical de rodillos.

Este tipo de molinos ofrece la ambigüedad que no siempre son rodillos, los que actúan como cuerpos moledores, puesto que dentro de este grupo se incluyen molinos que funcionan con bolas en vez de con rodillos.

El principio de trabajo de este tipo de molinos se basa en unos rodillos (o bien otros cuerpos moledores comparables) que se mueven en una trayectoria circular y girando alrededor de su eje, sobre un lecho de material de alimentación situado sobre una placa, pista o bandeja de molienda horizontal giratoria. (Escuela de Ingeniería de Minas, Energías y Materiales de Oviedo, 2017)



Figura 4. Molino vertical de rodillos

Fuente: (Castolin, 2017)

3.2.3.3 Molino de prensa de rodillos

Este fue un molino desarrollado en la actualidad en la industria cementera, su eficiencia alta hace que se use mayormente para moler clínker, pero también se puede usar para materiales de crudo y escoria. La reducción del tamaño del material ocurre bajo una gran presión entre dos rodillos rotatorios.

La prensa de rodillos opera bajo el principio de alta presión. El material a granel se alimenta a la separación entre dos rodillos que son accionados en contra-rotación. La fuerza de presión necesaria es creada por un sistema hidráulico - neumático que funciona como el resorte. (Holderbank, 2005).

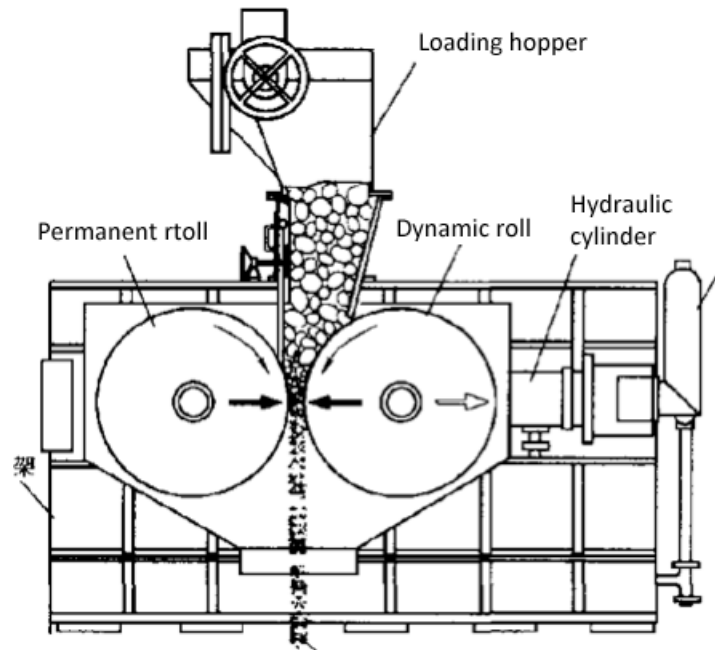


Figura 5. Molino de prensa de rodillos

Fuente: (Institute for Industrial Productivity, 2017)

3.2.4 Filtro

Máquina que está posicionada después del molino, se usa para separar el flujo de aire caliente producido desde el HGG con el material molido.

Aun cuando los separadores de aire usados en la industria del cemento se rigen por los mismos principios básicos, difieren en cuanto a su diseño y ámbito de aplicación. Las principales diferencias se presentan en:

- a. Forma de introducir el material a separar y el aire de separación
- b. Magnitud de la aceleración centrífuga
- c. Forma de separar el producto acabado de la corriente de aire

3.3 Generador de gases calientes (HGG)

3.3.1 Generalidades

Como parte importante del proyecto se detallará más a fondo el funcionamiento del HGG, anteriormente mencionado y explicado brevemente, esto para tener una mayor facilidad de entendimiento a la hora de describir el diagrama de control lógico de funcionamiento.

Los generadores de aire caliente específicamente se encargan de la parte de combustión y transferencia de calor hacia un fluido que será usado posteriormente para poder secar el material a moler, su funcionamiento es similar al de una caldera de vapor, nada más que este utiliza el aire como el fluido transportador de la energía (calor).

Se puede hablar de varios tipos dependiendo de ciertos aspectos, para aplicaciones de altas temperaturas (más de 1000 °C) o bajas temperaturas (menos de 1000 °C), para la combustión de cierto combustible (carbón, aceite, búnker) o varios combustibles, naturaleza del combustible (pulverizado, gas, líquido), entre otras.

3.3.2 Partes que lo componen

El HGG realiza un proceso de combustión que necesita cumplir con el triángulo de fuego: combustible, oxígeno y calor. Por lo tanto, tiene conductos que transportan el combustible a utilizar, válvulas para controlar el flujo necesario de combustible que le llega al quemador y el uso de estos (solos o combinados con otro combustible). Para el oxígeno se tienen varias entradas de aire, todas con su función específica, estos son:

- a. Aire de combustión
- b. Aire primario de dilución
- c. Aire secundario de dilución
- d. Recirculación de aire

Estos se inyectan de diferente forma hacia donde se regula la llama que calienta el flujo de aire controladas por medio de válvulas, celosías, así como variadores de frecuencia, de esta manera se controla el flujo necesario para que se produzca una llama adecuada y eficiente **(Ver Anexo 4)**.

El calor ocurre dentro de la cámara en forma de cilindro que ofrece la estufa a condiciones adecuadas y la llama se produce dentro de la cámara de combustión **(Ver Anexo 5)**.

De manera resumida lo que tiene el HGG son entradas de aire/combustible y salidas de aire caliente, para poderse usar en el proceso ya explicado anteriormente.

3.3.3 Combustión

Antes de realizar la explicación general de la producción de aire caliente se necesita conocer los principios básicos de la combustión, los cuáles se detallarán a continuación.

Para obtener un flujo de aire caliente no necesariamente se necesita realizar una buena combustión, pero de esta forma se gasta más combustible para poder obtener la misma temperatura de salida, lo cual sale más caro, resulta ser más ineficiente y hasta contamina más, por lo tanto, ahí recae la necesidad de realizar una combustión correcta.

El tener una combustión adecuada depende de dos factores necesarios: utilizar los flujos de combustible y aire aptos para obtener lo que se quiere, una flama regulada.

En todos los combustibles es importante conocer cuál es la temperatura de ignición, cuál es la temperatura de la flama que podemos esperar y cuánto aire se requiere estequiométricamente, siendo la estequiometría el estudio de las proporciones de reactivos que se necesita para producir una reacción química correcta.

La temperatura de ignición varía dependiendo de la composición química del combustible, pero usualmente se encuentra dentro de los siguientes rangos:

- a. Carbón: de 200 °C a 300 °C
- b. Búnker: de 300 °C a 550 °C
- c. Gas natural: de 600 °C a 700 °C

Para lograr esta ignición se necesita que las partículas de combustible se precalienten dentro del quemador y a la salida del mismo rápidamente, que sus moléculas empiecen a romperse para liberar hidrógeno y que lleven suficiente velocidad para sostenerse en el aire mientras sufren la reacción en cadena.

Las temperaturas teóricas de flama que pueden alcanzarse son:

- a. Con carbón 2155 °C
- b. Con búnker 2120 °C
- c. Con gas natural 2050 °C

El aire de combustión proporciona el oxígeno necesario para la combustión. Está compuesto por nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂), bajos volúmenes de gases inertes y una parte variable de vapor de agua. En algunos casos, se utiliza para la combustión oxígeno puro o una mezcla de oxígeno y aire. Los principales constituyentes del aire de combustión (con la excepción del oxígeno, que se consume durante la combustión) se encuentran en los gases de combustión.

Para combustiones ideales 1 kg de carbono, por ejemplo, necesita 2,67 kg de oxígeno para quemarse, mientras que 1 kg de hidrógeno necesita 8 kg de oxígeno y 1 kg de azufre sólo 1 kg de oxígeno. En este caso, la combustión cuando las proporciones de las cantidades son exactas se denomina como combustión ideal o combustión en condiciones estequiométricas.

Ocurriendo las siguientes reacciones químicas:



Por lo tanto, la combustión ideal se muestra en la siguiente figura:

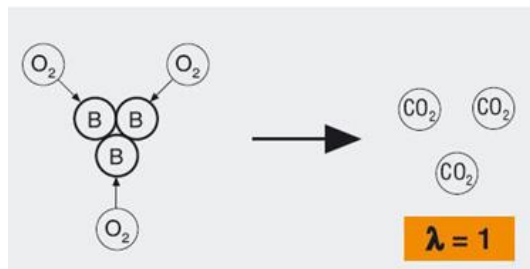


Figura 6. Combustión ideal

Fuente: (Testo Argentina, 2010)

La cantidad de oxígeno suministrado es suficiente para quemar totalmente el combustible B presente; no hay exceso de oxígeno ni de combustible, con Lambda igual a 1.

En la práctica, sin embargo, esta cantidad ideal (mínima) de oxígeno no es suficiente para una combustión completa debido a la mezcla incompleta del combustible y el oxígeno, entre otras cosas, y se debe aportar más oxígeno y por consiguiente más aire de combustión de lo que es estequiométricamente necesario. Esta cantidad adicional de aire se conoce como "exceso de aire", la proporción entre la cantidad de aire real y la estequiométricamente necesaria se conoce como coeficiente de exceso de aire (Lambda). La siguiente figura muestra esta situación en forma de modelo; debido al exceso de aire, aquí $\lambda > 1$. (Testo Argentina, 2010).

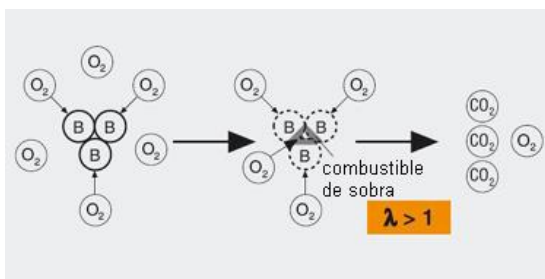


Figura 7. Combustión con exceso de aire

Fuente: (Testo Argentina, 2010)

Anteriormente se habló de diferentes aires que se le inyectan a la llama, los cuáles se explicarán a continuación:

El aire de combustión es el aire necesario para formar la llama, requerida por el triángulo de combustión o fugo, está tal y como se observa en el **(Anexo 5)** se divide en diferentes aires:

Tabla 2. Distribución aire de combustión

Aire	Efecto del incremento	Efecto de reducción
De combustión o externo	Se combina mejor con aire secundario Índices altos de turbulencia Llamas cortas y estrechas	Se combina más lento con el aire secundario Llamas largas
Axial o tangencial	Mejor estabilidad de combustión Índices tangenciales más altos Llamas cortas y amplias	Menor estabilidad en la combustión Llamas más estrechas
Radial o interno	Incremento de dispersión de partículas Índices más altos de dispersión	Reducción en la dispersión de partículas

Fuente: (Dynamis, 2014)

Donde se puede ver mejor el efecto de la variación de estos aires en la siguiente imagen:

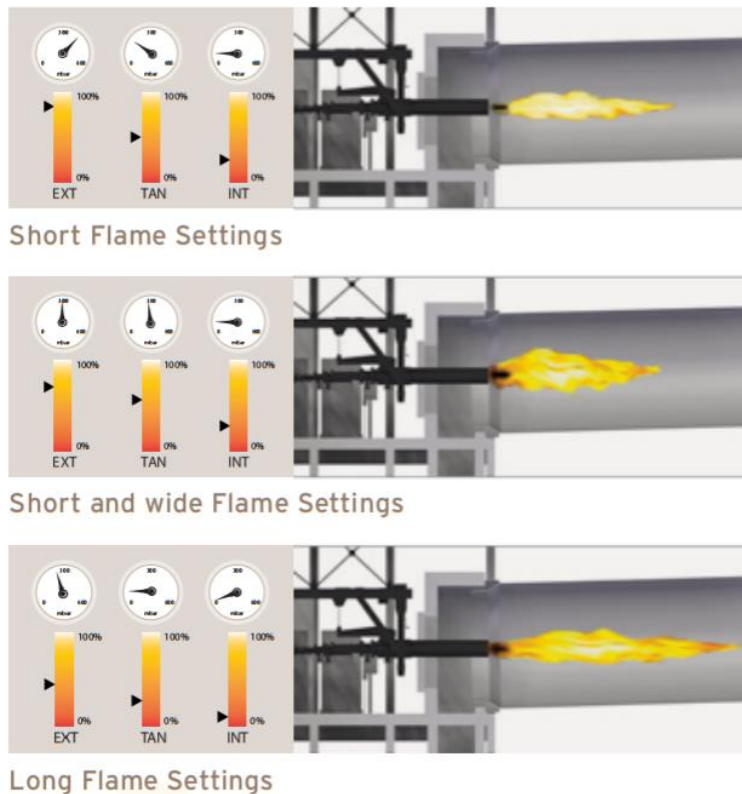


Figura 8. Variación llama con aires de combustión

Fuente (Dynamis, 2014)

El aire primario y secundario de dilución son los aires que se calentarán para que salga un flujo caliente utilizado en el molino y cada uno depende de la temperatura que se tiene en cierto punto del HGG, el primario está en un punto más alto (alejado) de la salida y se ve afectado de mayor manera si la llama es corta, en cambio el secundario está más cercano a la salida, se vería afectado si la llama es larga.

El aire de recirculación es un flujo de aire que ya fue utilizado en el proceso que se separó en el filtro, se envía a la salida del HGG para reducir la temperatura y llegar al punto deseado.

3.3.3.1 Poder calorífico

La reacción química anteriormente descrita necesita una energía para que se produzca, este desprendimiento de energía es característico de cada combustible a utilizar.

De manera más formal se puede decir que el poder calorífico (PC) es la cantidad de energía en forma de calor que entrega un kilogramo o un metro cúbico de combustible al oxidarse en forma completa, por ejemplo, cuando el carbono pasa a ser Dióxido de carbono (CO_2), como se muestra en la fórmula (3.2).

Usualmente se muestra en unidades de kcal/kg, kcal/m³, BTU/lb o BTU/pie³.

Usualmente el PC puede ser Superior (PCS), inferior (PCI) o medio (PCM).

El PCS se define suponiendo que todos los elementos de la combustión (combustible y aire) son tomados a 0 °C y los productos (gases de combustión) son llevados de igual forma a 0 °C después que ocurre la combustión, por lo que se podría decir que se encuentra totalmente condensado el vapor de agua ya sea que proviene de la humedad que trae el combustible o del agua que se forma por la combustión del hidrógeno del combustible.

Entonces al condensar el vapor de agua contenido en los gases de combustión se tendrá un aporte de calor de aproximadamente 597 kcal/kg_{agua}.

El PCI considera que el vapor de agua contenido en los gases de la combustión no condensa, por lo tanto, no hay aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua, solamente se dispondrá del calor de oxidación del combustible.

Por lo tanto, se puede decir que entre mayor sea la cantidad relativa de Hidrógeno (H) en la composición química de un combustible mayor diferencia relativa habrá entre el PCI y el PCS. (Universidad Tecnológica Nacional de Argentina)

Usualmente es el que interesa en los cálculos de usos industriales es el PCI porque se toma en cuenta que el vapor no sufre cambio de fase y se expulsa así.

Se debe considerar que para un mismo tipo de combustible su composición química puede cambiar, causando que su poder calorífico medio varíe, por ejemplo, el carbón que se obtiene en ciertas partes de Colombia posee una composición química en donde se tienen mayores moles de carbón que el carbón que se obtiene en ciertas partes de China, así, se tienen más moles de carbonos (C_2) para que reaccionen con más moles de oxígenos (O_2) y se puede obtener más energía de su reacción, aumentando su PCM.

Es importante conocer de cierta forma la composición del combustible y cuánto flujo de aire se necesita, que idealmente deberían estar en igualdad de moles, sino afectarán de manera directa la eficiencia del sistema por una posible combustión incorrecta. Es importante tener esto en cuenta debido a que más adelante se profundizará más para un análisis.

3.3.4 Funcionamiento

Según lo descrito por los operadores del sistema se debería considerar lo siguiente:

- a. El quemador fue diseñado para trabajar con búnker y/o carbón, actualmente trabaja con aceite y/o carbón, para que este arranque se necesita que esté iniciado el sistema de bombas.
- b. Para arrancar el HGG se necesita tener encendido el sistema de gases (de combustión, primario y secundario de dilución, en otras palabras, asegurarse que haya un flujo de gases a través de él.
- c. Si el molino está detenido mucho tiempo se tiene que realizar una curva de calentamiento hasta que el HGG llegue a la temperatura deseada.
- d. Usualmente se utiliza aceite para el arranque del HGG

El funcionamiento se puede observar descrito detalladamente en el **Anexo 2**, la secuencia se toma del manual proporcionado por la empresa Pillard que fue la implementadora del sistema a la empresa Holcim, con su última revisión el 20 de agosto del 2005.

3.4 PID

3.4.1 Generalidades

El controlador PID es un algoritmo de control usualmente aplicado dentro de un controlador lógico programable (PLC) (**Anexo 3**), está formado por un mecanismo de retroalimentación que autoajusta el valor de una variable medida hacia una deseada calculando la desviación o error entre estas dos variables.

PID significa Proporcional, Integral y Derivativa, y son las constantes que utiliza el controlador para ajustarse. Un lazo de control PID está diseñado para eliminar la necesidad de supervisión continua de una operación por parte de los operadores. Siendo la siguiente figura el esquema básico de control.

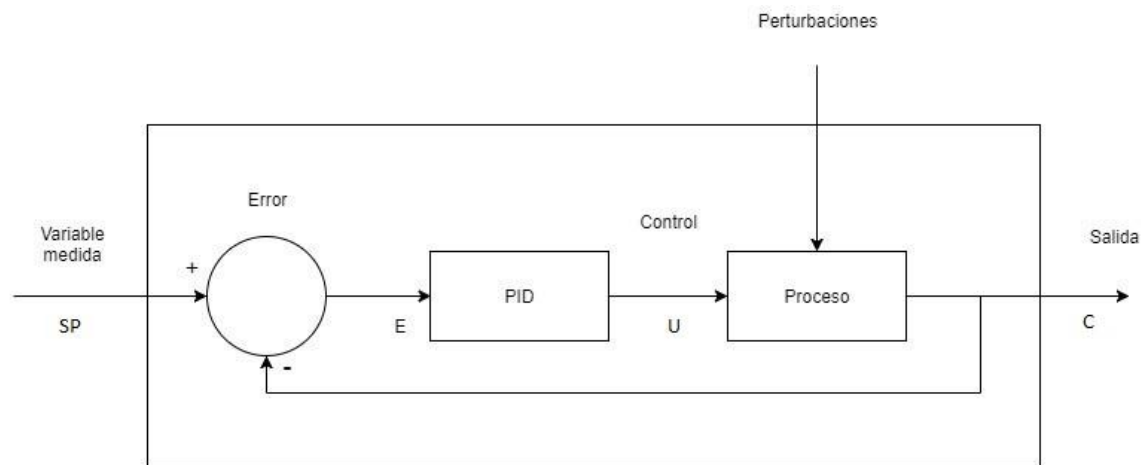


Figura 9. Esquema básico PID

Fuente: Draw.io

Para entender de una mejor manera el lazo de este tipo de controladores se compara con la situación en una ducha, se abre la llave inicialmente para aumentar la temperatura del agua hasta un valor aceptable, si la temperatura sobrepasa la se debe abrir la del agua fría, hasta regularlo en el punto en donde la persona le agrade la temperatura. En la actual situación la persona toma las decisiones si abrir o cerrar las llaves, pero sería mejor y más rápido si el ajuste lo realizara alguna máquina.

El controlador PID es uno de tantos controladores que son derivados del uso de las constantes, depende de la aplicación también se puede utilizar:

- Control todo/nada
- Control proporcional (P): usa la constante P solamente
- Control proporcional-derivativo (PD): usa las constantes P-D
- Control proporcional-integral (PI): usa las constante P-I
- Control proporcional-integral-derivativo (PID): utiliza las 3 constantes

Este último combina las tres acciones, que se logran observar mejor en la siguiente imagen, que describe el comportamiento del error en el tiempo.

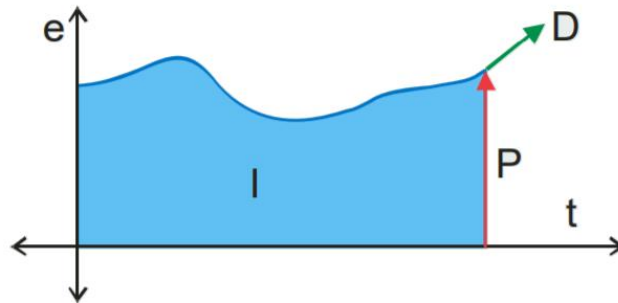


Figura 10. Error vs Tiempo PID

Fuente: (Facultad de ingeniería UNMdP, 2015)

El uso de la constante D, como se observa, puede poner a oscilar mucho el error, o más específicamente la salida, por lo que no en todos los casos se utiliza.

3.4.2 Funcionamiento

3.4.2.1 Constante P

Esta constante se obtiene del producto entre el error y la constante proporcional, para que este error se aproxime a un valor de cero, este se agrega en la suma del error como se observa en la figura 18. El valor de esta constante es óptimo para un rango del control, volviéndose oscilante para los demás rangos, aunque es conveniente que la parte proporcional ni siquiera produzca oscilación. Si este valor se excede de

algunos límites se entra a una zona de sobre-oscilación, en donde el sistema se vuelve inestable y es peligroso, por lo que se recomienda no sobrepasar el 30%.

3.4.2.2 Constante I

Esta constante k_i pretende disminuir lo que más se pueda, hasta el punto de eliminar, el error que se provoca por las perturbaciones del exterior, que usualmente no pueden ser corregidos por el control proporcional. Esto se aplica cuando existe una desviación entre la variable y la consigna deseada, se integra la desviación respecto al tiempo y se le suma al efecto de la acción proporcional. El error se integra (se promedia dentro de un periodo determinado) y se multiplica por la constante k_i y se adiciona esto al efecto de la suma, en la parte del error, como se observa en la figura 18, formando así el control PI, para obtener una respuesta estable del sistema sin algún error estacionario.

3.4.2.3 Constante D

Si hay un cambio del valor absoluto del error la constante K_d entra en juego para la regulación, su efecto radica en la reducción del error al mínimo por medio de la corrección proporcional a la velocidad con la que se produce, evitando que este aumente. La forma en que actúa es derivando el error respecto al tiempo, multiplicando luego por la constante K_d y sumándolo al efecto total producido por las constantes P+I

3.4.3 Componentes entrada/salida

Anteriormente se habló del punto deseado, de la variable que se lee y demás componentes que tiene el controlador. Entre los principales se muestran en la siguiente figura.

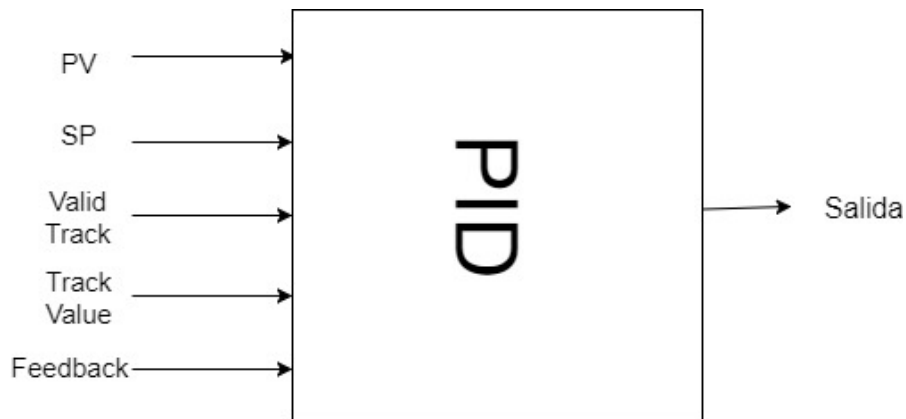


Figura 11. Entradas/Salidas de PID

Fuente: Draw.io

- PV: Se refiere a la variable del proceso, la medición que se tiene que corregir, usualmente temperatura, flujo, presión.
- SP: Setpoint o punto de ajuste, es el valor al que se desea llevar la variable leída.
- Valid Track o señal de forzado en la salida, es una señal booleana que, si está activa, fuerza un valor determinado hacia la salida, se usa en casos de arranque y pare, en donde no es tan correcto regular.
- Track value o valor de forzado: Es el valor que se fuerza en la salida cuando la señal de forzado en la salida está activa.
- Feedback o retroalimentación: se usa en algunos casos que necesita retroalimentarse otros datos importantes para regular mejor.

3.4.4 Ejemplos prácticos

a. Control flujo máquina:

Se necesita electroválvula de control del caudal de dicho flujo, y un caudalímetro, para tener la medición real del caudal que está pasando. El controlador irá vigilando que el caudal que circule sea el que fue puesto en el SP; en el momento que detecte un error, mandará una señal a la válvula de control de modo que esta se abrirá o cerrará corrigiendo el error medido.

b. Control temperatura máquina:

Se necesita un elemento que controle la temperatura, sensor de temperatura. Indiferentemente si usamos un controlador P, PI o PID en el momento que la medición no sea la que se quiere avisará al dispositivo de control de manera que este actúe, corrigiendo el error, ya sea permitiendo un paso mayor de corriente si fuera una resistencia. De todos modos, lo más correcto es poner un PID; si hay mucho ruido, un PI, pero un P no nos sirve mucho puesto que no llegaría a corregir hasta el valor exacto.

Capítulo 4. Información del sistema de control

En este capítulo se presenta la información relevante del sistema que llevó al análisis adecuado, además, que permitió el entendimiento de una de las etapas más básicas y significativas, que fue su caracterización, la cual abarcó gran parte del tiempo durante el proyecto.

4.1 Generalidades

Como etapa básica se buscó la información necesaria para poder entender el funcionamiento del generador de gases calientes del molino de puzolana, esto de manera paralela a la investigación del funcionamiento de los mismos. Para esta parte se entrevistaron varias personas de diferentes departamentos, así como se visitó las bibliotecas que las instalaciones cuenta, todo para una búsqueda adecuada.

Además, luego de recopilar la cantidad de información necesaria se procedió a realizar un proceso de análisis en donde hubo comprobaciones de datos para poder obtener el sistema lo más acertadamente posible con respecto al que está funcionando en la actualidad.

4.2 Recopilación de datos

4.2.1 Lógica de control

Los primeros datos se obtuvieron por parte del departamento de Producción, en donde ellos contaban con unos diagramas, no muy claros y sin confirmar su legitimidad, de alguna de las funciones con las que los controladores trabajarían, estos supuestamente habían sido descritos por parte de la empresa implementadora del quemador (Pillard), pero no se tenía la claridad adecuada para poderlos analizar (**Anexos 3**). En su primera hoja tenían escritos en francés (debido a que Pillard es una empresa francesa) pero no era un esquema de programación y no podía ser utilizado para poder replicarse en un autómatas, un sistema centralizado u otro regulador (**Anexo 6, página 1**).

En estos diagramas se contaba toda una simbología (**Anexo 6, Página 2**) para poder facilitar su lectura, que además no estaba dentro de los lenguajes convencionales que se utilizan para la descripción de un diagrama de control, sino que se utilizaba en diagramas de tuberías e instrumentación (DTI) (en inglés: Piping and Instrumentation Diagram, P&ID). Por tanto, se necesitó a descifrar su simbología y lógica.

De forma general, se podía observar un índice en la siguiente página (**Anexo 6, Página 3**), en donde cada hoja parece un tipo de rutina, yendo de la 4 hasta la 12, en donde algunas fueron al parecer repintados y escritos a mano. Los que textualmente se leen como:

4. Dilution Temp – R1
5. Monte en Temp – R1
6. Dilution temp – second – R1
8. Set point calculations – R1
10. Air Flow – R2
11. Heavy – oil Flow – R2
12. Atomizing pressure – R2

Cabe resaltar que entre la 8 y la 10, aparecen además otros gráficos hechos totalmente a mano, el primero con el nombre “Control Set Point de Bunker” y el segundo con “Cálculo del set Point de aire estequiométrico para búnker solamente”. Que indica fueron bastante tiempo atrás, porque el sistema funciona en la actualidad solamente con carbón y desechos de aceite como combustibles, esto según el asesor industrial, Ingeniero Eléctrico Agustín Víquez.

En las primeras dos hojas, la simbología se usa de manera adecuada y se lleva un orden lógico de lo que podría ser la descripción del funcionamiento del sistema, se cuenta con cierto tipo de apuntes hechos a mano que facilitan el entender, ejemplo de esto, en hoja 4 (**Anexo 6**), apunta que la palabra “Montee” tiene un significado de subida o aumento.

Aunque no siempre se respete, se identifican espacios dentro de los diagramas que brindan información importante. Existen 4 líneas punteadas que van a lo largo de las hojas; la primera sección dividida por estas contiene información proveniente de sensores, del PLC o palabras clave; la segunda sección posee información en forma de marcas, constantes y variables dentro del sistema, la tercera parte (y más amplia) incluye la estructura lógica de lo que se realiza con la información proveniente de las otras secciones, estas además incluyen un direccionamiento que proviene de algún autómatas unida con la información de secciones más arriba (DI 1.0, AI 1.4, etc.), la cuarta sección incluye marcas de salida y en la última las salidas, ya sea para PLC y actuadores, en donde recae toda la lógica de algún proceso.

Algunas partes no cuentan con una lógica correcta, ejemplo de esto, es en la hoja 5 (**Anexo 6**) en donde posicionados en la tercera parte se encuentra una operación lógica AND, donde solo recibe un parámetro, dejando el otro al aire. Arriba de esta se encuentra una función “High-Low limiting” (según la parte de simbología), donde solo se indican 2 señales, y que lo lógico sería tener 3 (entrada, límite inferior y límite superior). Estas y muchas otras situaciones ocurren a lo largo de los diagramas, dejando la inconclusa y con un faltante de una descripción breve sobre los bloques de función utilizados.

Lamentablemente mucha de la información no es legible, dentro de muchos diagramas no se puede analizar por completo debido a que se ve borrosa algunas partes, tal y como se presentan en las hojas 2, 3, 6, 11 y 12. Sin esta información no se identifica la lógica completa, haciendo aún más difícil el proceso de caracterización.

Además de estas hojas, el mismo departamento contaba con otras, de información en donde se detallaban valores de constantes y nombres de variables agrupadas en forma de bytes (8 señales) en 2 folletos, “Prg_39.DBF” (**Anexo 7**) y “Prg_40.DBF” (**Anexo 8**).

Como primer punto en estos folletos siempre se habló de dos controladores, que por parte del Asesor Industrial se confirmaron, cada controlador al parecer contenía

diferentes funciones reguladoras (llamadas como “Loops”, dentro las últimas hojas señaladas), las cuales se pueden ordenar de la siguiente forma, el primer controlador contenía las rutinas:

- a. Temperatura primaria de dilución
- b. Temperatura secundaria de dilución
- c. Carga
- d. Puntos de ajuste

El segundo contenía las siguientes:

- a. Flujo de aire
- b. Flujo de aceite
- c. Presión de atomización

Esto concordaba también con lo que se tenía en las hojas con la lógica.

Más detalladamente, en estas hojas se describían los parámetros que se verían en la pantalla del controlador si se monitoreaba la variable que regulaba, gráfico de barras de la variable medida (PV), del punto de ajuste (SP) y de la salida controlada por el regulador.

Se presentan las condiciones que hacen que el regulador cambiara de modo, ya sea a Manual, automático, remoto, rastreo.

Además, las condiciones para que se activara una alarma de tipo “muy alta”, “alta”, “baja” o “muy baja”, que al parecer no era tan utilizado.

En ambos folletos luego se mostraban primero una hoja con cierto tipo de variables acomodadas en bloques, que tenían un nombre designado, un tipo (la mayoría siendo de tensión), un número de sitio, un bit y si esta estaba invertida o no, ejemplo R1_D1_1X (**Anexo 7, página 5**) donde parecen ser un grupo de 4 entradas provenientes hacia el controlador 1. Las designaciones también se encontraron en las hojas con la parte lógica, por lo que todo apuntaba que fueran las variables digitales de entrada y salida usadas internamente dentro del programa.

Después se muestran una serie de constantes ordenadas en bloques, 30 constantes en el controlador 1 y 13 para el segundo, donde se detallan su nombre, el dato, la unidad, el valor original y el valor en el arranque del sistema, el cual no se dice cuando termina.

Finalmente, en el segundo folleto (**Anexo 8, hojas 7 en adelante**) se muestran una serie de bloques del tipo Char, en donde al parecer se ingresa con cierto dato (punto) y de salida se da un punto nuevo, como si se tratase de una función. Estas efectivamente también aparecen en las hojas de lógica, por lo que se puede decir que son utilizadas e información de gran utilidad más adelante.

4.2.2 Diagramas eléctricos

Mostrados en el **Anexo 9**, como primer dato de importancia se conoció la marca y el modelo de los controladores, que fueron datos obtenidos por el Ingeniero de automatización Carlos Ureña, aclarando que estos son unos Eurotherm modelo T640 de la marca Schneider y que según sus manuales es un controlador de proceso de la época de 1991, que funciona por medio de estructuras de control pre configuradas, de varios bucles para aplicaciones de control secuencial o dependiente del estado, requiriendo nada más su parametrización adecuada. Pueden ser programados de forma remota o manual, desde su panel, tal y como se muestra en la figura 12.

También tal y como se encontró información sobre la programación de los controladores también se obtuvieron diagramas que mostraban con claridad aspectos de conexión eléctrica, ya sea de comunicación entre controladores, comunicación con el PLC y de entradas/salidas.

Esta información fue tomada directamente de los ampos que Holcim tenía dentro de sus bibliotecas, (Pillard, 2003), en la primera hoja (**Ver Anexos 6**) se puede observar la parte exterior del panel, en donde con el número 6 y 7 vienen señalados los dos controladores, que serían por el momento los que nos interesa. En la siguiente página se especifica la conexión de ambos controladores en la red “ALIN”, establecida predeterminadamente por el implementador del proceso Pillard, que físicamente usan

un tipo de cable especial especificado en el diagrama. El controlador de arriba permite la conexión hacia estos por un puerto disponible “E1.64”, esto se ve mejor en el **Apéndice 1**. Debido a que no se tenía mucha información del protocolo que hablan los controladores, se consultó al servicio técnico de Schneider-Electric a lo cual respondieron sobre el protocolo y el software que se necesita para conectarse con un dispositivo final tipo computadora (**Ver Apéndice 2**).

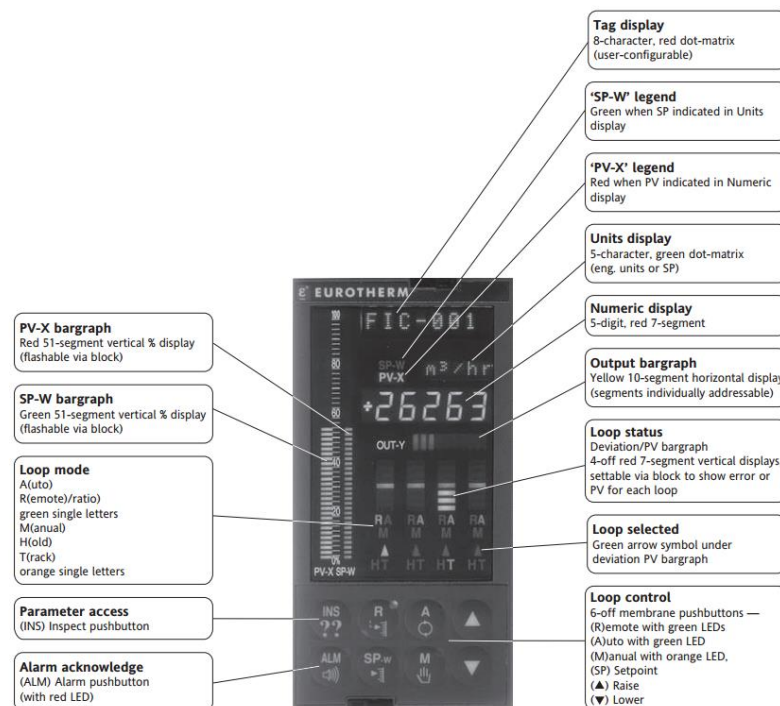


Figura 12. Pantalla T640

Fuente: (Eurotherm - Schneider)

Otro de los datos relevantes de esta página en este diagrama de conexión es que se logra observar en el bloque 1 (estos van del 0 al 9 en la parte inferior de la hoja), que uno de los controladores se une por medio de un convertidor RS 485 a RS 232 hacia un procesador 171 CCC 76010, siendo este el PLC que controla las demás señales que no se conectan a los controladores y que se comunica a la red industrial.

En las siguientes hojas de este anexo se agrupan las señales analógicas de entrada/salida y las digitales de entrada/salida de ambos controladores, las que fueron

comprobadas dentro de las hojas que contenían la lógica, dentro de las señales analógicas se ven muchos convertidores de tensión a corriente, esto porque los actuadores necesitan la señal de corriente para poder entender que deben de aumentar o reducirse según lo que hagan. Las señales digitales, utilizan unos cuadros de relés que le cambian la tensión a la señal para que sea la que se acepte en el módulo respectivo del PLC.

4.2.3 Otra información

También hubo otros aspectos importantes para la recopilación de datos necesaria, se explican los siguientes.

4.2.3.1 Disco compacto con información relevante

El departamento de automatización proveyó dos discos compactos (CD) sin saber lo que tenían estos, se encontró información relevante del programa de las pantallas HMI, del PLC, de ambos controladores T640 y una guía que era la información de los ampos pero que incluía aspectos extra.

El hecho de encontrar el programa de los controladores significaba que se podía comprobar y corregir la lógica de programación que contenían los diagramas que dio el departamento de producción, que como se había explicado algunas partes no se veían o no tenían un orden lógico, el problema de esto resultó que no se tenía el software adecuado para leerlo, y que según conversaciones en foros y proveedores se necesitaba el LinTools de Schneider, que solo se conseguía pago.

4.2.3.2 Software Lintools

El conseguir el software fue de suma importancia, el departamento de proyectos hizo la investigación de la cotización, pero esta implicaba todo un mes como mínimo, para la compra por parte de proveeduría (**Ver Apéndice 3**).

El tiempo es un recurso limitado dentro de un proyecto de graduación así que se necesitaba encontrar una alternativa más rápida, esto paso a ser una prioridad alta en el proyecto, según los ingenieros eléctricos se tenía una computadora que lo tenía

instalado dentro de la planta, pero debido a la renovación de esta se perdió su registro por lo que era innecesario buscarla.

Por la gran insistencia de ayuda para un estudiante con su proyecto de graduación y debido a que se escribió a foros, se envió correos y mensajes a contactos de Schneider-Electric Costa Rica, se recibió correos por parte del servicio técnico de Inglaterra y Estados Unidos, específicamente el de un colaborador de Estados Unidos de Schneider-Electric, el Ing. Mark Demick, consultor técnico de ventas, él compartió un folder en donde se encontraba el software que se necesitaba para poder ayudar sin ningún costo (**Ver Apéndice 4**) y con el cuál se pudo empezar a hacer el análisis/comprobación del programa para poder desarrollar la estrategia de control adecuada, migrando todo el sistema a un controlador centralizado.

4.2.3.3 Pruebas conexión a controladores

Como parte paralela a la búsqueda del software LinTools, se intentó conectar a los terminales 14,15 y 16 (Figura 13) y utilizar otro software iTools, el cual si se podía descargar de forma gratuita en la página oficial de Schneider. Se hizo un cable con un puerto hembra serial para la conexión en una computadora con el software instalado, se dejó los cables de la señal al otro lado para conectar a la entrada del convertidor RS485/RS232, utilizando el protocolo RS485. Se intentó conectar, pero no hubo respuesta por medio del programa, lo que indicaba que no era el programa correcto ni el puerto adecuado. Aun así, se comprobó el envío de datos por medio del “Hyperterminal” de Windows.

Pin	Assignment	Description	Blocks
1	Internal earth	Do not connect these terminals externally!	
2	Internal earth		
L	Mains live	Live & neutral mains input terminals. (MAINS option motherboard only — blank in DC option.)	
N	Mains neutral		
7	DC source 1 +ve	DC option power input terminals. PRIMARY supply. (DC option motherboard only — blank in MAINS option.)	
8	DC source 1 -ve		
9	DC source 2 +ve	DC option power input terminals. BACKUP supply. (DC option motherboard only — blank in MAINS option.)	
10	DC source 2 -ve		
11	RS422 TX+	Serial communication connections. If RS485 is selected pins 11 and 12 are unused, & pins 14 and 15 become RS485+ and RS485- respectively. (See <i>T640 User Guide</i> for details on setting serial comms. switches & jumpers.)	SL661
12	RS422 TX-		
13	RS422 (RS485) Gnd		
14	RS422 RX+ (RS485+)		
15	RS422 RX- (RS485-)		
16	Watchdog 1	Relay output whose contacts are closed in normal operation. They open on power loss or CPU failure. They have been configured to also open on alarm.	USR_ALM
17	Watchdog 2		
18	Alarm 1	Relay output whose contacts are closed in normal operation. They open on power loss or CPU failure. They also open if any alarm of priority 11 to 15 occurs.	
19	Alarm 2		
20	ALIN Gnd	ALIN peer-to-peer communications connections. Connections should be made: Gnd to Gnd, Phase A to Phase A, and Phase B to Phase B.	
21	ALIN Phase A		
22	ALIN Phase B		

Figura 13. Terminales de controlador T640

Fuente: (Eurotherm - Schneider)

4.3 Análisis de datos

4.3.1 Comprobación de señales

Se comprobó la procedencia de las señales mostrada en los diagramas (de lógica y conexión eléctrica) con la programación del PLC. Esta programación sí se podía obtener por medio de la red industrial porque así lo permitía el controlador, a diferencia de los controladores T640, por lo que se obtuvo la versión actual.

El software de programación del autómatas es el Concepts-Schneider, que resulta ser un poco antiguo, pero fácil de usar.

Con el diccionario de variables de Concepts se comprobó que estas tuvieran concordancia con las que se mostraban en los diagramas de control, esto antes de realizar la estrategia de control.

4.3.2 Discrepancias encontradas – tabla I/O

Gracias al aporte del software Lintools se pudo abrir el programa de los controladores encontrado en los discos compactos en la planta; el proceso de aprendizaje en el uso de programa debía ser breve y se basó en lo que decía el manual, ya que no se encontraban ejemplos de programación en la red. Este es compatible con el sistema operativo Windows actual, por lo que no fue necesario utilizar una máquina virtual, como había que hacerlo con los demás programas, por su antigüedad.

La forma en que se había realizado la programación de este fue en bloques (**Ver Apéndice 5**), siendo los bloques funciones predeterminadas por el programa y que gracias a la ayuda del programa se iba entendiendo la funcionalidad de cada uno.

Luego de ir relacionando lo que se tenía en el programa con la información de los diagramas se encontraron bastantes diferencias y datos relevantes, entre estos:

- a. Faltante de bloques lógicos en los diagramas, por lo que se tenía en estos era información incorrecta, tales como, en la entrada de los parámetros de algunos PIDs, que cambiaban el funcionamiento de la regulación en las rutinas.
- b. Cambio en el uso de las constantes, en algunos lugares se decía que se tenía que usar ciertas constantes, pero dentro del programa se señalaban otras, que cumplían con una lógica más adecuada del funcionamiento.
- c. Faltante de negación de ciertas señales, muchas señales usadas en bloques lógicos (OR/AND) les hacía falta negación, lo que hubiera causado fallas a la hora de probar la estrategia.
- d. Muchas hojas que venían con apuntes hechos a mano dejaban inconclusa la idea del proceso, con el programa ya se pudo entender lo que se quería indicar con estos apuntes.
- e. Se pudo rellenar las partes de los diagramas que no se lograban ver por la mala calidad del escaneado, completando la lógica de las rutinas.

- f. Se entiende la forma en que trabajan ciertos bloques, que no se hubiera logrado con la simbología de los diagramas sino con el análisis de todo el sistema como un todo.
- g. Corrección de señales, algunas variables como entradas estaban incorrectas respecto al programa, donde se procedió a corregirlas.
- h. Se aclara el funcionamiento de algunas funciones, como la de la página 12 del **Anexo 6**, en donde se encuentran los puntos de entrada y de salida que forman la gráfica característica.

Lo explicado anteriormente supuso una tabla de entradas y salidas que se puede ver mejor en las siguientes figuras para ambos controladores.

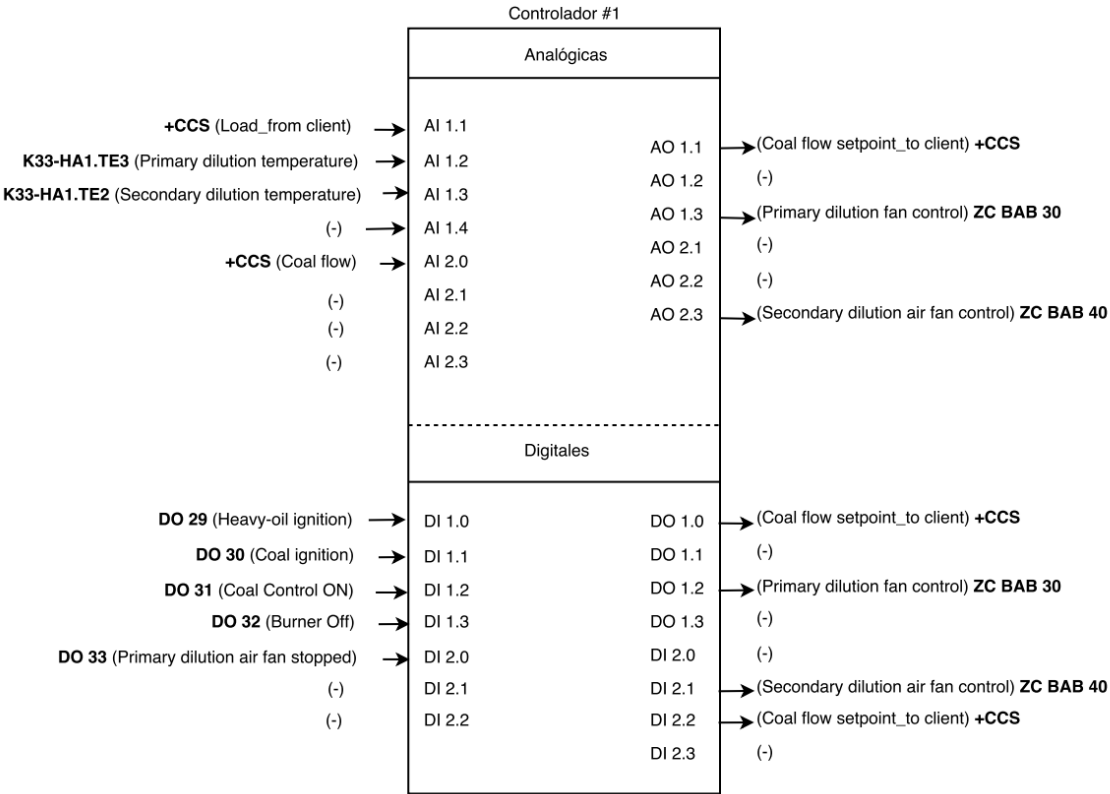


Figura 14. I/O controlador 1

Fuente: Draw.io

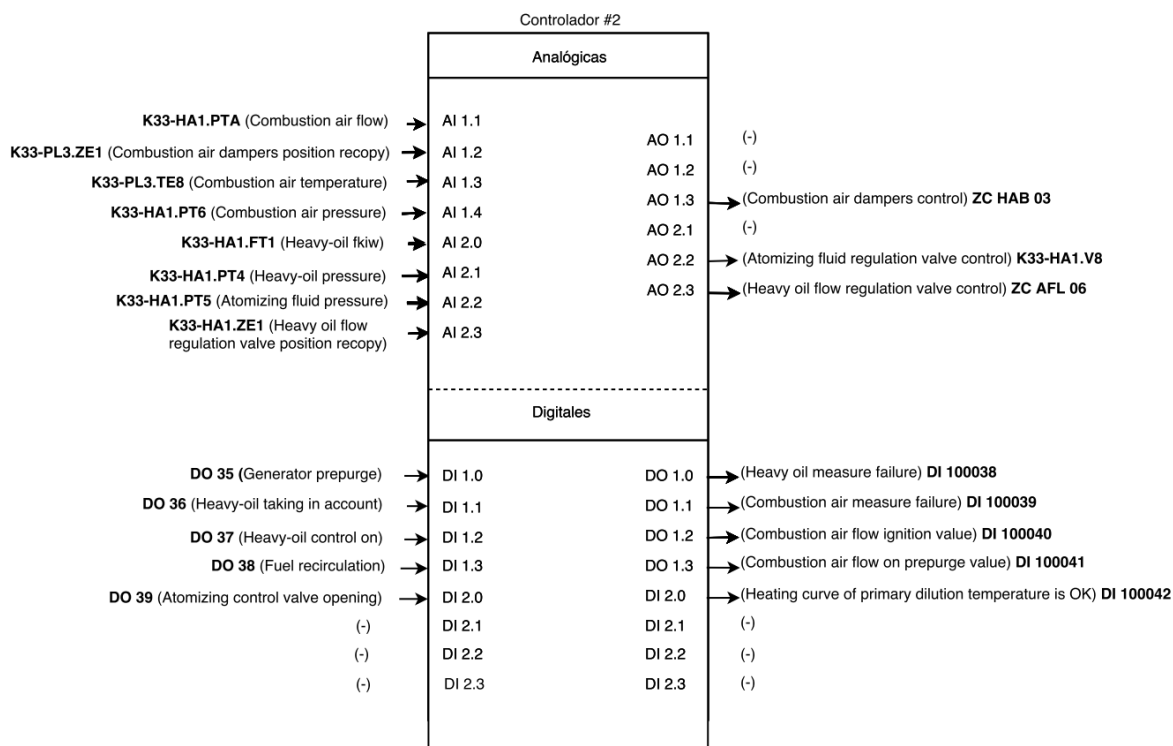


Figura 15. I/O controlador 2

Fuente: Draw.io

Del lado izquierdo se marca el nombre de la variable usada en el proceso, en letra negrita la procedencia de la señal, si está como K33.X.X significa el código que se usa en la planta para identificar las señales de sensores del molino de puzolana, si viene como DI/DO son señales que provienen del PLC con el que están conectados los controladores, y si dice +CCS son datos que provienen directamente del sistema de monitoreo y adquisición de datos. Algunas entradas no son utilizadas por eso se demarcan como “(-)”.

Del lado derecho el nombre de la variable, de igual forma, en negrita el código del actuador hacia donde se envía el estado de la variable, en la cual se puede observar que algunas van como entradas hacia el PLC.

Para entender un poco la simbología de salida se muestra la simbología que se usa en los diagramas P&ID.

Tabla 3. Abreviaciones para diagramas P&ID

First Letter	Initiating or Measured Variable	Controllers				Read out Devices	
		Recording	Indicating	Blind	Self-Actuated Control Valves	Recording	Indicating
A	Analysis	ARC	AIC	AC		AR	AI
B	Burner/Combustion	BRC	BIC	BC		BR	BI
C	User's Choice						
D	User's Choice						
E	Voltage	ERC	EIC	EC		ER	EI
F	Flow Rate	FRC	FIC	FC	FCV, FICV	FR	FI
FQ	Flow Quantity	FQRC	FQIC			FQR	FQI
FF	Flow Ratio	FFRC	FFIC	FFC		FFR	FFI
G	User's Choice						
H	Hand		HIC	HC			
I	Current	IRC	IIC			IR	II
J	Power	JRC	JIC			JR	JI
K	Time	KRC	KIC	KC	KCV	KR	KI
L	Level	LRC	LIC	LC	LCV	LR	LI
M	User's Choice						
N	User's Choice						
O	User's Choice						
P	Pressure/Vacuum	PRC	PIC	PC	PCV	PR	PI
PD	Pressure, Differential	PDRC	PDIC	PDC	PDCV	PDR	PDI
Q	Quantity	QRC	QIC			QR	QI
R	Radiation	RRC	RIC	RC		RR	RI
S	Speed/Frequency	SRC	SIC	SC	SCV	SR	SI
T	Temperature	TRC	TIC	TC	TCV	TR	TI
TD	Temperature, Differential	TDRC	TDIC	TDC	TDCV	TDR	TDI
U	Multivariable						
V	Vibration/Machinery Analysis						
W	Weight/Force	WRC	WIC	WC	WCV	WR	WI
WD	Weight/Force, Differential	WDRC	WDIC	WDC	WDCV	WDR	WDI
X	Unclassified	Cell	Cell	Cell	Cell	Cell	Cell
Y	Event/State/Presence		YIC	YC		YR	YI
Z	Position/Dimension	ZRC	ZIC	ZC	ZCV	ZR	ZI
ZD	Gauging/Deviation	ZDRC	ZDIC	ZDC	ZDCV	ZDR	ZDI

Fuente: (Instrumentation Toolbox, 2017)

Se puede decir que el encontrar tantas diferencias permite desarrollar la estrategia más cercana a la que está funcionando en los controladores actualmente, y con más cercana se refiere a que como ya se había explicado, el sistema tuvo unas pequeñas modificaciones por parte de Pillard desde hace años, según el programa encontrado este tiene una última modificación en el año 2005, la cual no es la última versión del mismo porque ya se había contratado la empresa para realizar una mejora en este, por lo que todavía hay una versión que no se puede obtener.

La única forma de obtener directamente la información de los controladores es ponerse en línea con ellos, para esto se necesita un cable convertidor de protocolo ARCNET a USB22, por recomendaciones de Schneider-Electric. El mismo fue cotizado y se usará para la comprobación completa del sistema a futuro, pero ya a este punto se ha llegado más lejos de lo que se había podido lograr entender del sistema por alguien más en Holcim.

Capítulo 5. Caracterización del sistema

5.1 Generalidades

La recopilación de datos y análisis culmina en el desarrollo de una estrategia de control adecuada en donde se adecue la funcionalidad lógica de los controladores dentro de un PLC reemplazable, que permita monitorear su estado, que sea compatible con la red industrial utilizada para poder transmitir los datos a un sistema SCADA para, al final, eliminar los controladores del sistema del molino de Puzolana y terminar con la dependencia que se tiene con estos equipos considerados críticos. En este capítulo se muestra finalmente el diagrama que Holcim espera además de la descripción del funcionamiento de las rutinas, esto para poder empezar la migración de su sistema y poderlo modernizar.

5.2 Estrategia de control

Se mostrará un diagrama sin normalización para su mayor entendimiento, y otro normalizado por el software Unity Pro XL V11.1 en el **Anexo 10**, utilizando el CPU de la modernización, ya adquirido por Holcim como etapa de migración, el modelo es el Unity Momentum 171 CBU 980991.

AL final dentro del diagrama quedaron las siguientes rutinas para poder cumplir con la lógica establecida:

- a. Temperatura de dilución primaria
- b. Aumento de temperatura
- c. Temperatura de dilución secundaria
- d. Carga
- e. Puntos de ajuste
- f. Aire de combustión
- g. Presión de atomización
- h. Válvula presión atomización del aceite

Este diagrama se muestra a continuación.

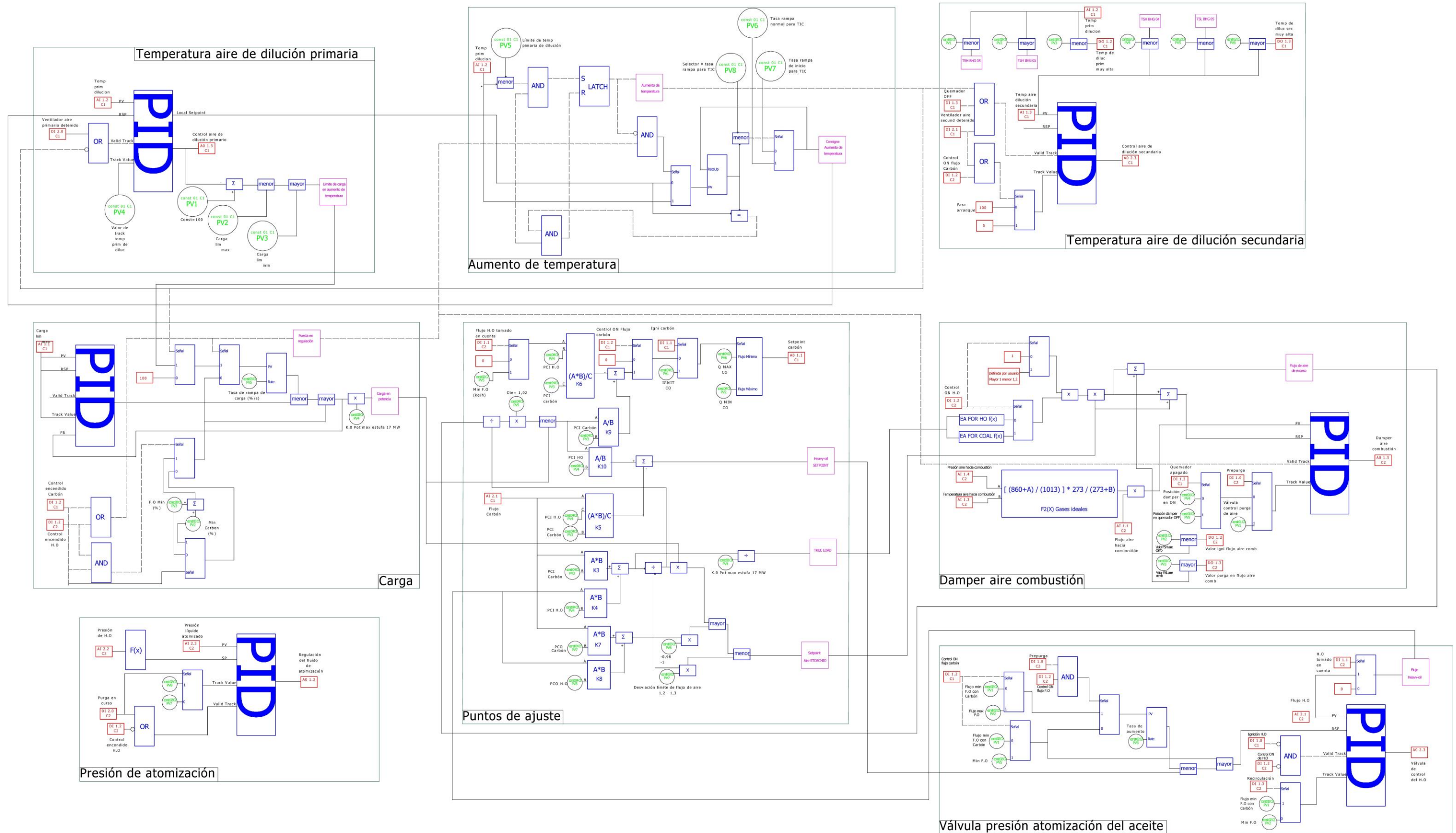


Figura 16. Diagrama de la estrategia de control – No normalizado

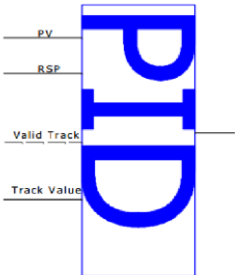
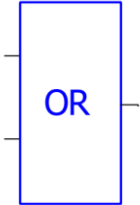
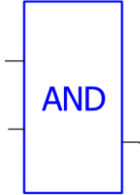
Fuente: AutoCad

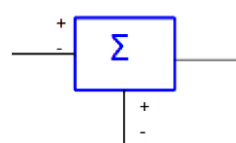
En el diagrama las rutinas se relacionan entre ellas, las que son señales digitales se realizaron por medio de líneas punteadas, en cambio las señales analógicas como líneas normales, las señales negadas vienen por un círculo antes de entrar en los cuadros de función.

Las funciones se realizaron en cuadros de color azul, las constantes se escribieron en color verde, las variables de entrada/salida en cuadro de color rojo, las marcas del sistema en un cuadro de color magenta y las rutinas dentro de un cuadro de color verde oscuro. Debajo de cada cuadro de rutina viene el nombre correspondiente.

A continuación, una tabla con las funciones usadas dentro del programa:

Tabla 4. Bloques para diagrama de control

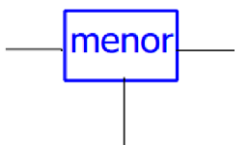
Bloque	Entradas	Salidas	Descripción
	3 entradas analógicas (PV, RSP, Track value) 1 entrada digital (Valid track)	1 salida analógica	El bloque PID se refiere al algoritmo de regulación PID incremental
	2 entradas digitales	1 salida digital	Bloque de la función lógica OR
	2 entradas digitales	1 salida digital	Bloque de la función lógica AND



2 entradas
analógicas

1 salida analógica

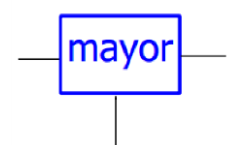
Bloque de función
suma o resta



2 entradas
analógicas

1 salida analógica

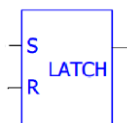
Bloque de
comparación de
valores numéricos,
se escoge el valor
menor



2 entradas
analógicas

1 salida analógica

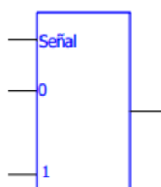
Bloque de
comparación de
valores numéricos,
se escoge el valor
mayor



2 entradas
digitales

1 salida digital

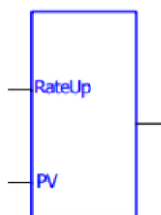
Bloque Latch S/R



1 entrada digital
2 entradas
analógicas

1 salida analógica

Selector
dependiente de la
señal



2 entradas
analógicas

1 salida analógica

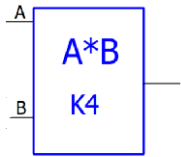
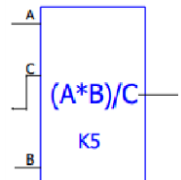
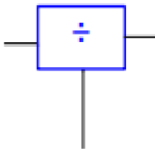
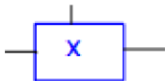
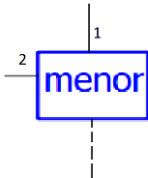
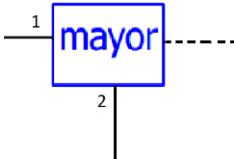
Bloque limitador
tasa de cambio, se
limita la señal (PV)
a una tasa RateUp



3 entradas
analógicas

1 salida analógica

Bloque limitador de
señal, se limita la
señal dentro de un
rango mínimo y
máximo

	2 entradas analógicas	1 salida analógica	Bloque de función de 2 entradas, se especifica la función
	3 entradas analógicas	1 salida analógica	Bloque de función de 3 entradas, se especifica la función
	2 entradas analógicas	1 salida analógica	Bloque de función matemática división
	2 entradas analógicas	1 salida analógica	Bloque de función matemática multiplicación
	2 entradas analógicas	1 salida digital	Bloque de función comparación menor, si 1 es menor que 2 se activa la salida
	2 entradas analógicas	1 salida digital	Bloque de función comparación mayor, si 1 es mayor que 2 se activa la salida

Fuente: AutoCAD 2017

5.3 Funcionamiento

Para describir cada rutina se adjuntará el diagrama de esta para un mayor entendimiento, en algunos se marcarán partes para no confundir cuando se describen, debido a la complejidad del sistema. Se recuerda también que las constantes que se usan provienen de los folletos en el **Anexo 7** y **Anexo 8**.

5.3.1 Temperatura primaria de dilución

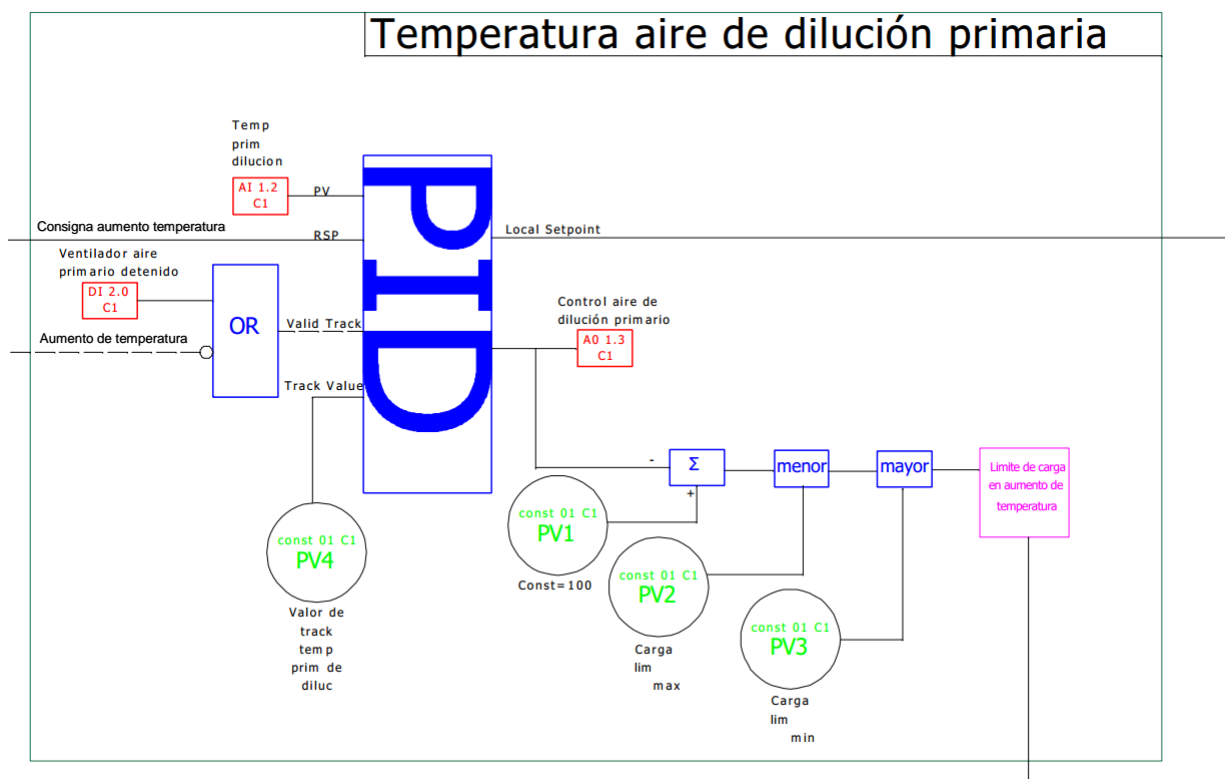


Figura 17. Temperatura air dilución primaria

Fuente: AutoCAD

El controlador recibe una señal de temperatura de dilución de aire primaria que se intenta llegar a un punto de ajuste, afectando la señal de salida que va hacia un variador de frecuencia este controla el aire de entrada de dilución primario, que está posicionada en la parte más arriba del HGG (**Anexo 4**).

La señal de forzado de salida o “Valid Track” depende de la señal que se obtiene si el ventilador de aire primario de dilución está detenido o si no hay señal de aumento de temperatura en el HGG, si esta señal está encendida se ajusta un porcentaje del aire de dilución al 12%, condición que suele ocurrir en un arranque del sistema.

El punto de ajuste remoto o “Remote SetPoint” (RSP de aquí en adelante), está dado por una marca llamada “consigna de aumento de temperatura” y se calcula dentro de la rutina de aumento de temperatura.

Además, al valor de regulación o salida del controlador se le realizan operaciones matemáticas, llevándola a una base de comparación (suma de constante 100) también se filtra por límites escogiéndose del menor entre este valor y una constante de 80% además de otra constante de 30%), para poder obtener una marca llamada “límite de carga en aumento de temperatura”, que como su nombre lo indica limita para estar dentro de rangos seguros de operación, este valor se usa en la rutina de “carga”.

El diagrama se puede ver normalizado en Unity en la siguiente figura.

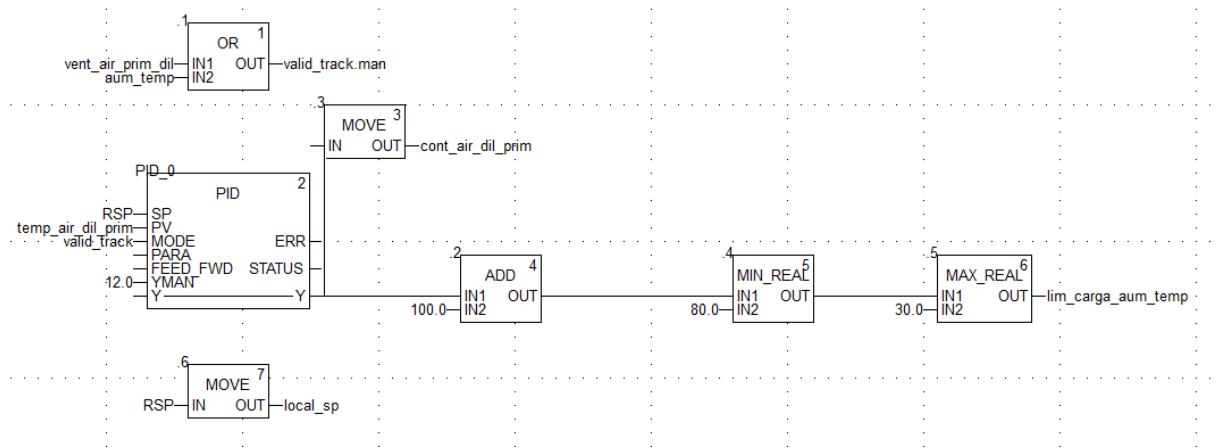


Figura 18. Temperatura dilución primaria Unity

Fuente: Unity Pro XL

5.3.2 Temperatura secundaria de dilución

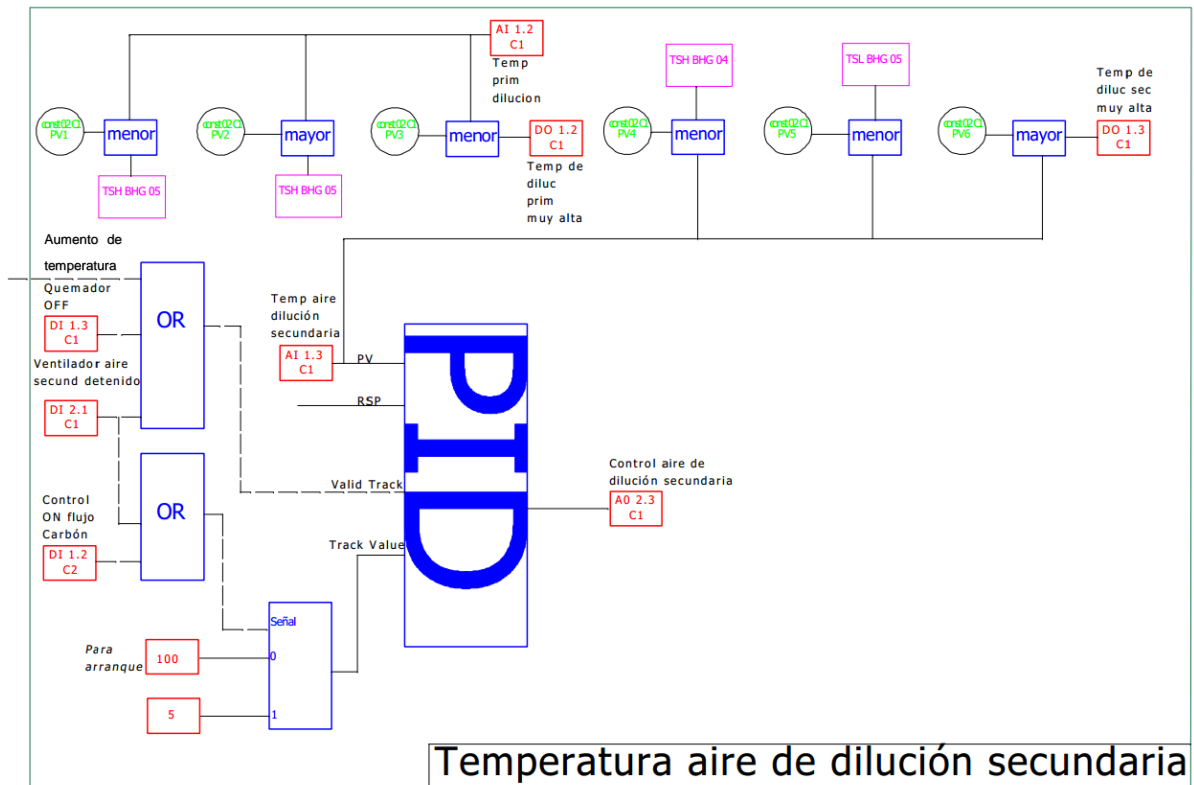


Figura 19. Temperatura aire dilución secundaria

Fuente: AutoCAD

De igual forma controla el aire, pero de dilución secundaria en un variador de frecuencia mediante una señal de temperatura de dilución de aire secundaria posicionada más cerca de la salida del HGG que la temperatura de dilución de aire primaria (**Anexo 4**).

El punto de ajuste deseado no es variable, sino que se ingresa desde una pantalla, aspecto que se tomará para las futuras mejoras.

Mientras la marca del sistema de “aumento de temperatura” esté desactiva, el quemador esté apagado o el ventilador de aire de dilución secundaria esté detenido el sistema regula su salida con el punto de ajuste ingresado, de manera contraria se fuerza la salida a un valor que se obtiene de la siguiente situación:

Si el ventilador de aire de dilución secundaria está detenido o si el controlador de flujo de carbón está encendido, la salida toma un valor de 5%, si no, se puede considerar que el sistema está en arranque por lo que se fuerza la salida al 100% de la capacidad del variador hacia el motor.

En la parte de arriba aparecen unas comparaciones que los diagramas originales traen pero que el programa no, a petición de los departamentos estos no tienen prioridad por el momento, pero de igual forma se deja la prevista para que se consideren más adelante.

El diagrama se puede ver normalizado en Unity en la siguiente figura.

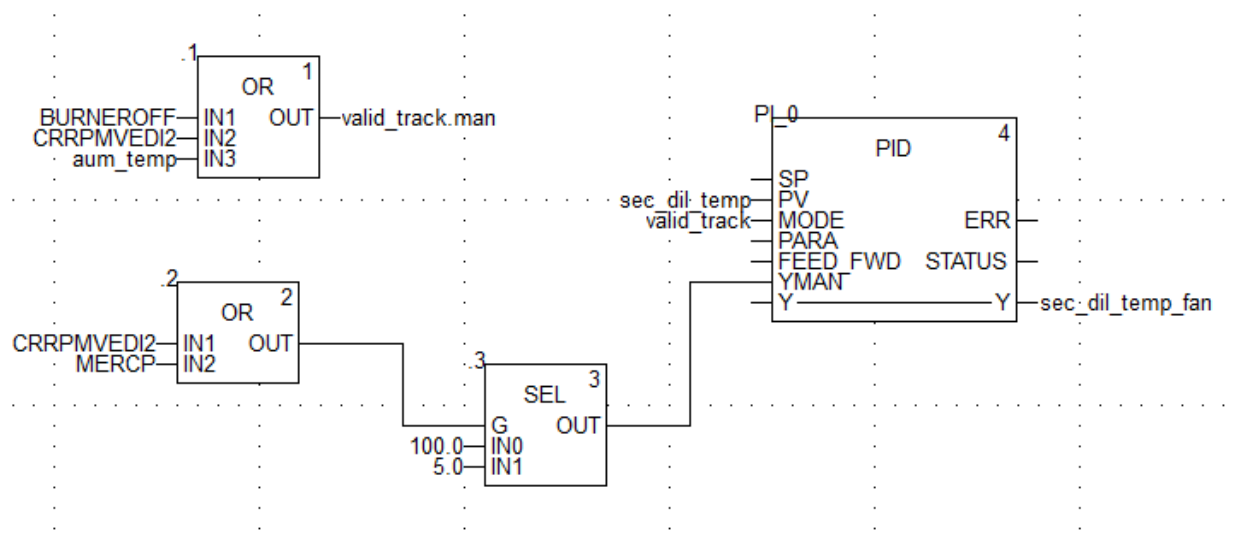


Figura 20. Temperatura dilución secundaria Unity

Fuente: Unity Pro XL

5.3.3 Aumento de temperatura

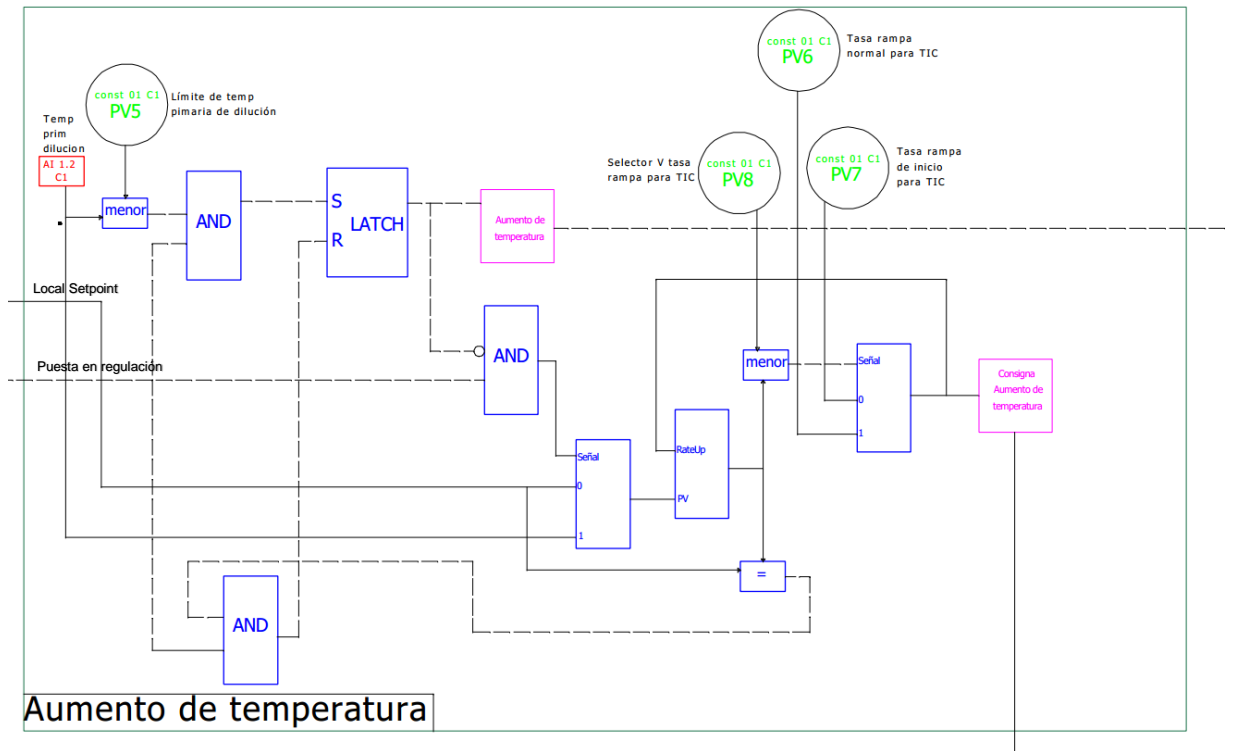


Figura 21. Aumento temperatura

Fuente: AutoCAD

Para entender el funcionamiento, se necesita suponer algunas condiciones, debido a que su lógica es de lazo cerrado, haciendo que sus salidas dependan de sus entradas y sus entradas de sus salidas.

Se supondrá valores de arranque en sus variables, por lo tanto:

- Temperatura de dilución primaria es menor al límite de temperatura de dilución primaria (300 °C)
- Temperatura de dilución primaria es menor al punto de ajuste local (en diagramas no se tenía este valor, pero dentro del programa se encontró que es 1025 °C)
- Debido a que el sistema debe de estar usando algún combustible, puede que, en ambos, la marca "Puesta en regulación" debe estar activa, dado por

resultado que el Latch S/R se active o ajuste a 1, que al mismo tiempo activa la marca “aumento en la temperatura”.

Por lo tanto, se puede considerar lo siguiente:

- Mientras el sistema aumenta de temperatura lo hace a una tasa fijada de 1300 °C/h, esto hasta llegar a una temperatura igual a 400 °C, de ahí en adelante se ajusta a una tasa fija de 400 °C/h.
- Cuando la temperatura de dilución primaria llega a ser igual al valor de ajuste local (aproximadamente 1025 °C), el sistema se reinicia a un valor de 0 en la marca llamada “aumento de temperatura”, esto también puede pasar si está apagado el control de encendido del aceite y del carbón.

El diagrama se puede ver normalizado en Unity en la siguiente figura.

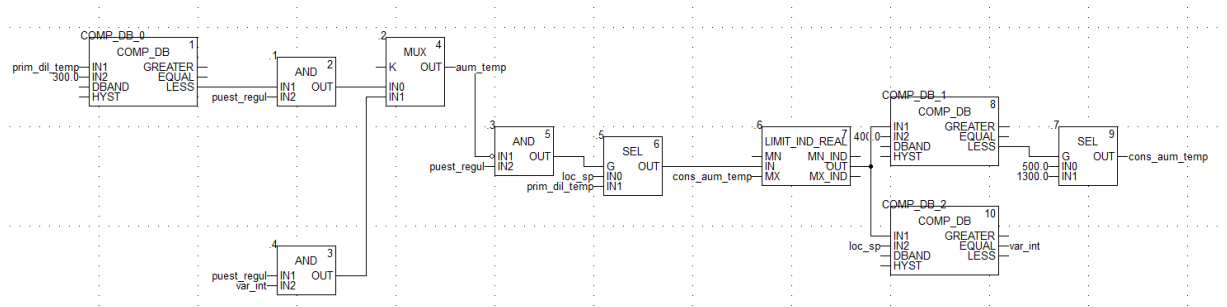


Figura 22. Aumento de temperatura Unity

5.3.4 Carga

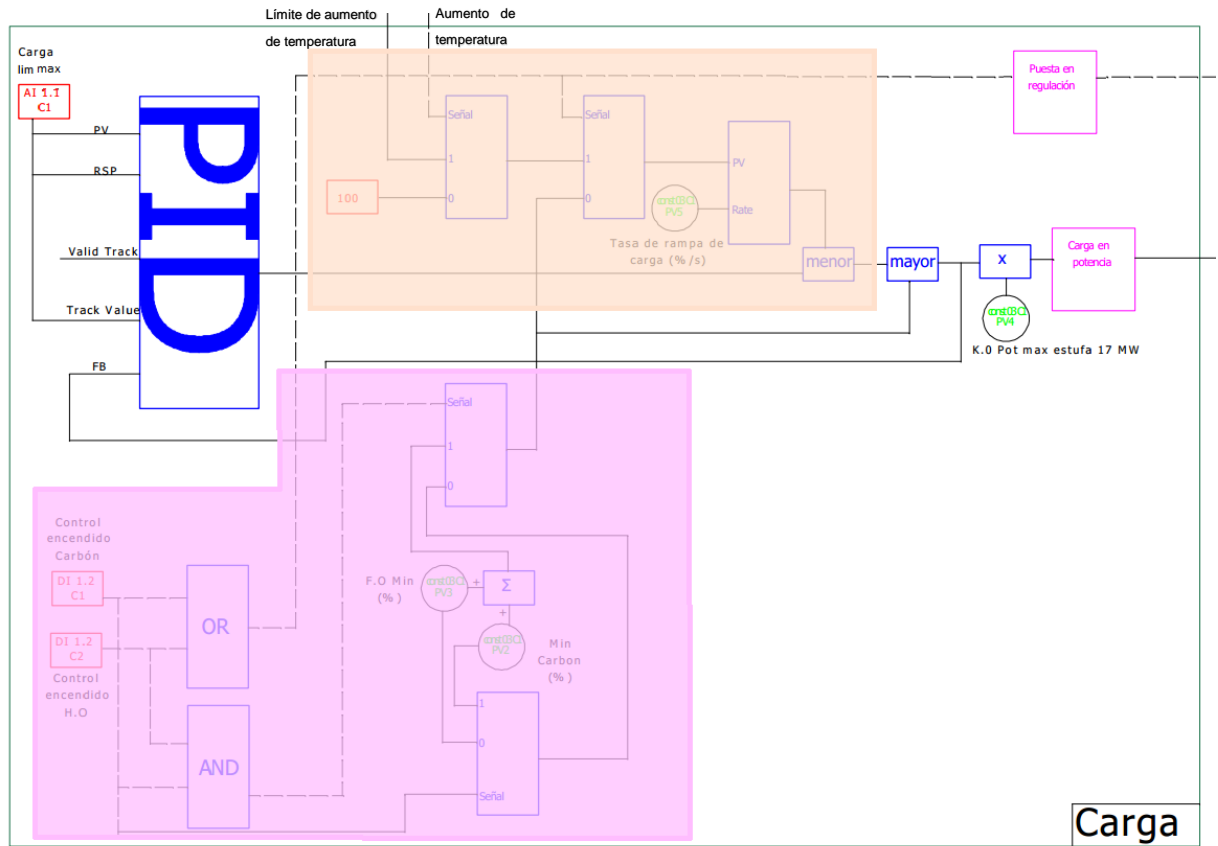


Figura 23. Carga

Fuente: AutoCAD

El valor de la carga está dado bajo diferentes situaciones dependientes de los estados en las entradas del sistema.

- Como primer paso, en la parte demarcada por el color naranja claro el sistema elige el valor numérico menor entre la carga ingresada en el sistema por el usuario (operador) y el valor que resulta de las siguientes condiciones:
 - Limitado por una tasa de crecimiento de un $15 \frac{\%}{s}$, si el “control de encendido del aceite” o del “carbón” (desde PLC) están establecidos en un valor de 1 se elige el valor que resulta de las siguientes condiciones:

- Si el sistema indica que hay un aumento de temperatura, se utiliza el valor del “límite de carga en el aumento de temperatura”, que se obtiene del bloque “Temperatura de dilución primaria” sino se ajusta la salida al 100%
 - En el caso que los “controles de encendido” tanto del aceite como del carbón (desde PLC) estén apagados se ajusta la salida a un 20%
- Después el valor escogido se compara para elegir el mayor entre este y el que resulte de las siguientes condiciones, demarcado de color rosado en el diagrama:
 - Si ambos “controles de encendido” están establecidos en un valor de 1 (desde PLC), se toma como valor a comparar la suma de ambas constantes, que dan 40%, sino se toma el valor que resulte de la siguiente condición:
 - Si el “control de encendido del carbón” (PLC) está establecido en un valor de 1 se toma el valor de carbón mínimo (20%) sino se toma el valor mínimo del aceite (20%)

El valor elegido como mayor se multiplica a la potencia máxima de la estufa (17 MW) y se obtiene el valor de carga en potencia que el sistema necesita para ese momento.

El diagrama se puede ver normalizado en Unity en la siguiente figura.

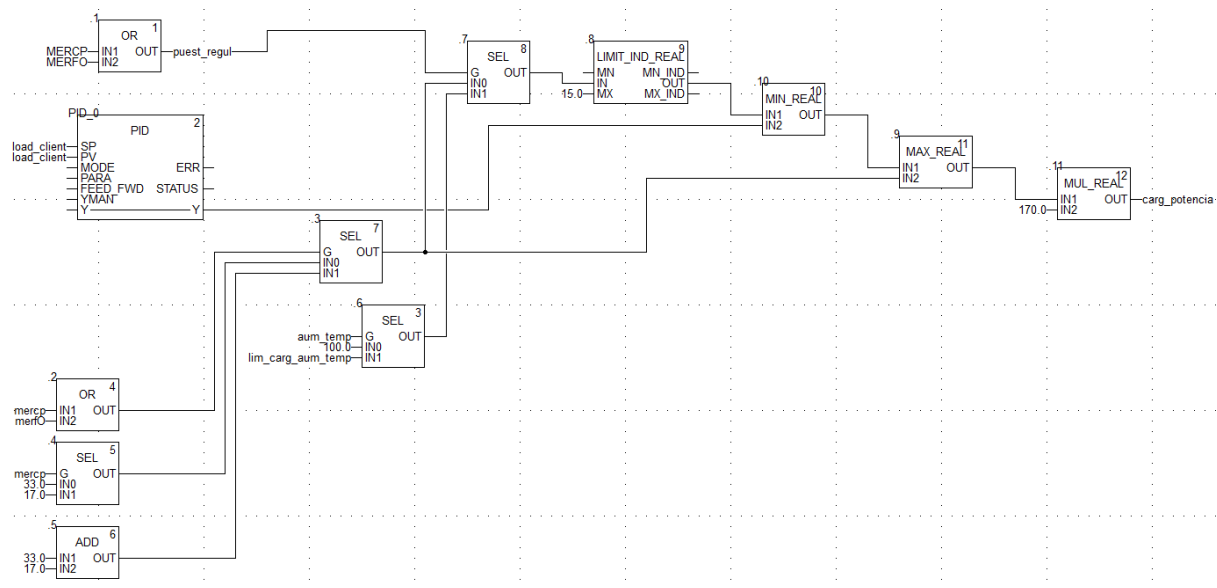
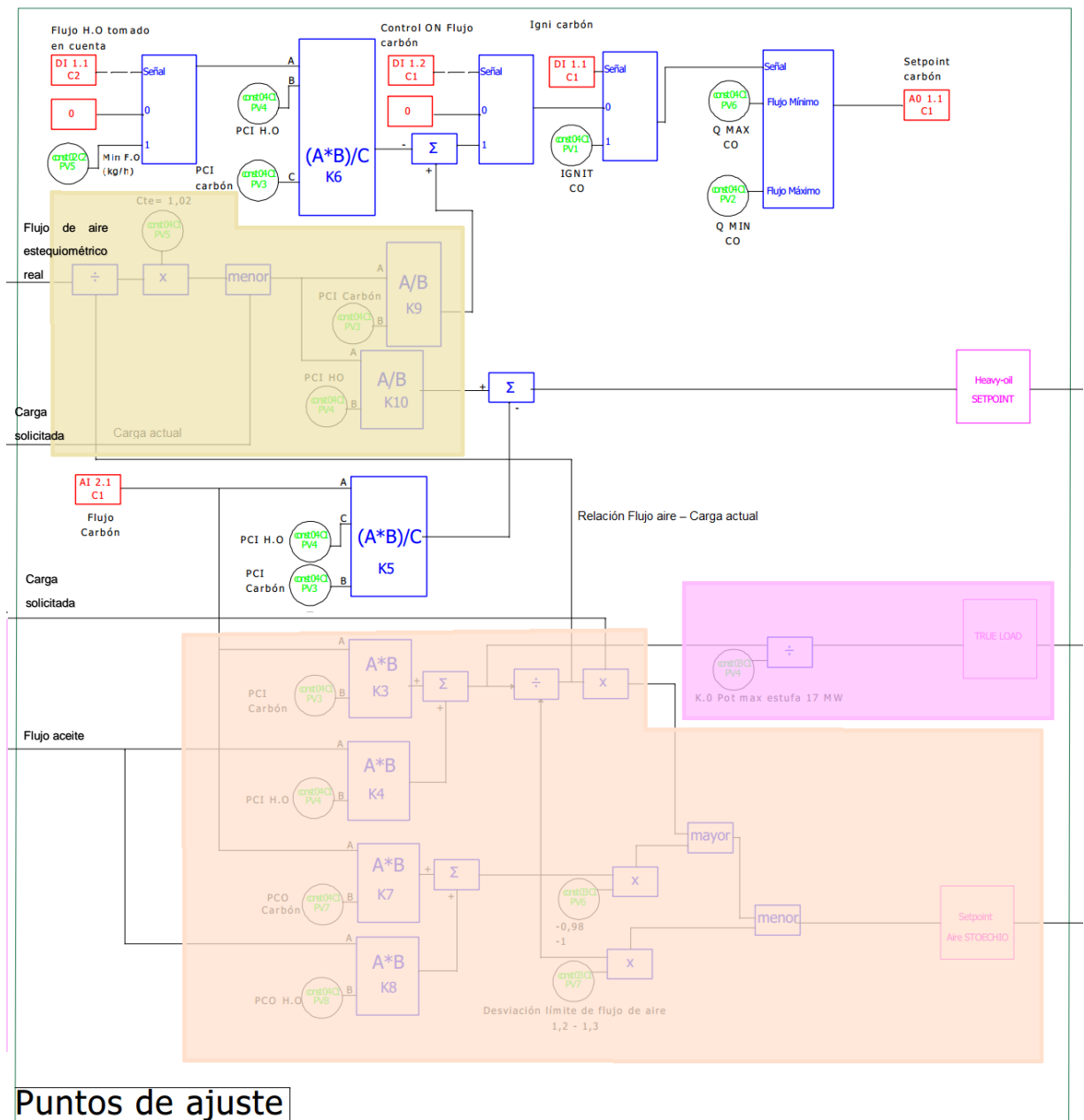


Figura 24. Carga Unity

Fuente: Unity Pro XL

5.3.5 Puntos de ajuste



Puntos de ajuste

Figura 25. Puntos de ajuste

Fuente: AutoCAD

Esta rutina contiene marcas que son usadas en la mayoría de las demás rutinas como datos de entrada, esto como puntos de ajuste. El cálculo de estos valores se obtiene por medio de expresiones básicas que se explican a continuación.

La primera expresión es la K3 que es la parte de la potencia total que se está recibiendo por parte del flujo del carbón en ese momento, y se obtiene del producto del flujo medido por una constante (poder calorífico del carbón por unidad de flujo). Sus unidades son kW.

La expresión K4 es la potencia que se está recibiendo por parte del flujo del aceite en ese momento, y se obtiene del producto del flujo medido por una constante (poder calorífico del aceite por unidad de flujo). Sus unidades son kW.

De manera muy importante se debe resaltar que estas expresiones (K3 y K4) toman el combustible como si su composición química fuera la misma, al considerar un poder calorífico constante, esto es un error muy grave debido a que este varía por muchos factores, lo que se está dando un cálculo erróneo para un proceso esencial.

La expresión K5 es el flujo de carbón equivalente en flujo de aceite y se obtiene de la siguiente relación

$$K_5 = A * \frac{B}{C} \quad (5.1)$$

En donde:

- A = Flujo de carbón
- B = Poder calorífico del carbón por unidad de flujo
- C = Poder calorífico del aceite por unidad de flujo

Este resulta en unidades de kg/h.

La expresión K6 es el flujo de aceite equivalente en flujo de carbón y se obtiene de la siguiente relación

$$K_6 = A * \frac{B}{C} \quad (5.2)$$

En donde:

- A = Flujo de aceite
- B = Poder calorífico del aceite por unidad de flujo
- C = Poder calorífico del carbón por unidad de flujo

Este resulta en unidades de kg/h.

La expresión K7 es la parte del flujo de aire estequiométrico total necesario para el flujo de carbón que se tiene en el momento, se obtiene del producto de la medida de flujo de carbón en ese momento por una constante (los kilogramos de aire que se necesitan por kilogramos de carbón). Las unidades dan kg/h.

La expresión K8 es el flujo de aire estequiométrico necesario para el flujo de carbón que se tiene en el momento, se obtiene del producto de la medida de flujo de aceite en ese momento por una constante (los kilogramos de aire que se necesitan por kilogramos de aceite). Las unidades dan kg/h.

Acá se hace un hincapié para poder sobresaltar el cálculo erróneo de las anteriores expresiones (K7 y K8), en este caso debido a que se asume que los combustibles (aceite y carbón) necesitan una tasa constante de kilogramos de aire por kilogramos de combustible, eso no es cierto, ya que no considera si por la composición química del combustible o su mezcla se está adicionando el oxígeno necesario, ya sea faltante o excesivo.

La “carga actual” o “Potencia actual del sistema” se obtiene de la suma de la salida de las expresiones K3 y K4.

El “Flujo de aire estequiométrico teórico” se obtiene de la suma de la salida de las expresiones K7 y K8.

Se obtiene una “Relación Flujo aire – Carga actual” (señalado en el diagrama) mediante el cociente del “Flujo de aire estequiométrico teórico” entre la “Carga actual”.

El producto de la relación de “Carga actual” con la marca “Carga solicitada”, (proveniente de la rutina de carga) da un nuevo flujo de aire estequiométrico relacionado con cargas (solicitada y actual) a la que se le llamará “Flujo de aire estequiométrico’ “(prima) y que es directamente proporcional a la carga solicitada, visto de una mejor manera en la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo aire estequiométrico}' = \text{Flujo aire estequiométrico} * \frac{\text{Carga solicitada}}{\text{Carga actual}}$$

Para obtener la marca de salida “Punto de ajuste de Aire Estequiométrico”, el cual es uno de los valores principales que se obtienen de la rutina, primero se compara el “Flujo de aire estequiométrico’ “(prima), explicado anteriormente, con el cociente del “Flujo de aire estequiométrico” por una constante de 0,98, escogiendo así el mayor. El que resulte de la comparación anterior se compara de nuevo, pero ahora con el cociente del “Flujo de aire estequiométrico” por una constante entre 1,2 y 1,3 para así elegir el menor en este caso y enviarse como la marca deseada.

Lo último está demarcado en color naranja claro en el diagrama.

Este punto de ajuste se elige así ya que si, en el sistema, la carga solicitada aumenta (por una posible reducción de la temperatura de la puzolana, de la temperatura deseada, en la salida del molino) la relación entre carga solicitada/carga actual crece también causando que se elija el “Flujo de aire estequiométrico’ “(prima) como el valor que va hacia la marca de ajuste del aire estequiométrico. Se asegura que este valor no supere un 120%-130% (límite flujo de aire) del “Flujo de aire estequiométrico” por medio de la segunda comparación del menor, para mantener una gradiente de aumento de temperatura aceptable y evitar posibles fallas.

Si en vez en el sistema, la carga solicitada disminuye (caso contrario al expuesto en el párrafo anterior) hasta el punto que el “Flujo de aire estequiométrico” se reduzca más del 2% actual se escoge el 98% del flujo de aire estequiométrico, poco a poco ya que si este fuera menos el sistema está en una condición peligrosa, porque se le está reduciendo el flujo de aire con el mismo flujo de combustible, esto causaría una

formación de CO dentro de la estufa, que de primera mano contamina al ambiente, es venenoso para las personas y se estaría realizando una combustión no completa, gastando más combustible para llegar a una temperatura deseada.

La marca “Carga real” o “True Load” se obtiene del cociente de “Carga actual” entre la potencia de la estufa (17 MW), dando así el porcentaje de uso actual de potencia de la estufa, marcado en color rosado.

La escogencia del valor de entrada de Carga para las expresiones K9 y K10 se realiza de la siguiente forma, en el diagrama marcado de color amarillo:

Se recibe una marca de “Flujo de aire estequiométrico real”, desde la rutina de “Aire de combustión”, esta se divide entre la “Relación Flujo aire – Carga actual”, para obtener “Carga actual’ “(prima), que está relacionada con los flujos de aire (que tengo y que necesito) que es inversamente proporcional al flujo de aire estequiométrico que necesito, visto de una mejor manera en la siguiente ecuación:

$$Carga\ actual' = Carga\ actual * \frac{Flujo\ aire\ estequiométrico_{real}}{Flujo\ aire\ estequiométrico_{teórico}}$$

Este valor de “Carga actual’ “(prima) se infla un 2% para poderse comparar con “Carga solicitada” y elegir el menor para no sobrepasarse.

La expresión K9 toma el valor menor de las cargas que se compararon en la explicación anterior y del producto de esta potencia con la del poder calorífico del carbón por unidad de flujo se obtiene, así, la potencia ingresada en términos de flujo de carbón.

La expresión K10 toma el mismo valor menor entre las cargas y del producto de esta potencia con la del poder calorífico del aceite por unidad de flujo se obtiene la potencia ingresada en términos de flujo de aceite.

Ahora la marca de “Punto de ajuste del aceite” es la resta entre la salida de la expresión K10 menos la K5, que significa cuánto es la parte de la potencia total que me debe dar el aceite en flujo o visto como una fórmula.

$$(Potencia_{ingresada})_{Flujo\ aceite} - (Flujo_{carbon})_{Flujo\ aceite} = Punto\ ajuste_{Aceite}$$

Para la salida analógica que indica el flujo de carbón que se debe tener se explica a continuación:

- Si la señal de “Flujo de aceite tomado en cuenta”, que envía el PLC, está activa este ajusta un valor de flujo mínimo de aceite en la entrada de la expresión K6, explicada con anterioridad.
- Al valor de salida de la expresión K9 (Potencia equivalente en términos de flujo de carbón) se le resta la salida de la expresión K5 (Flujo de aceite en términos de flujo de carbón), obteniéndose así la parte de la potencia total que me debe de dar el carbón en flujo, o visto como fórmula.

$$(Potencia_{ingresada})_{Flujo\ carbón} - (Flujo_{aceite})_{Flujo\ carbón} = Punto\ ajuste_{carbón}$$

- Este valor se toma si la señal del PLC llamada “Ignición del carbón” está apagado, sino significa que el sistema está arrancando por lo tanto se ajusta un valor de ignición.
- Indiferentemente si está encendido o no la señal de “Ignición del carbón” siempre se restringe la señal dentro de límites permitidos para asegurarse un flujo seguro.

Cabe resaltar que esta no está regida bajo un controlador PID porque el valor de salida va hacia el sistema SCADA, en donde el operador lo reescribe en la señal del dosificador del carbón, lo cual no es nada automatizado.

El diagrama se puede ver normalizado en Unity en la siguiente figura.

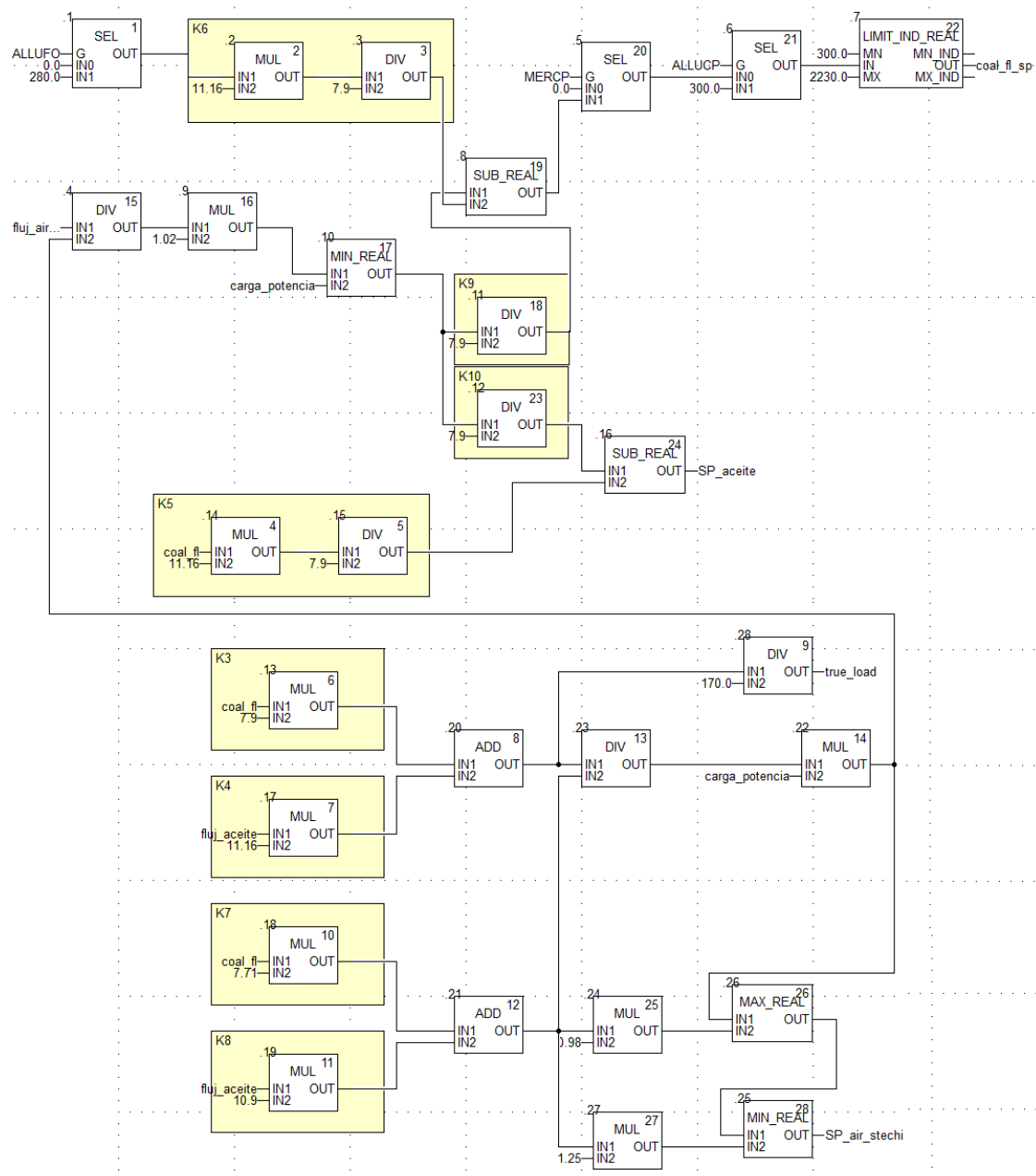


Figura 26. Puntos de ajuste Unity

Fuente: Unity Pro XL

5.3.6 Aire de combustión

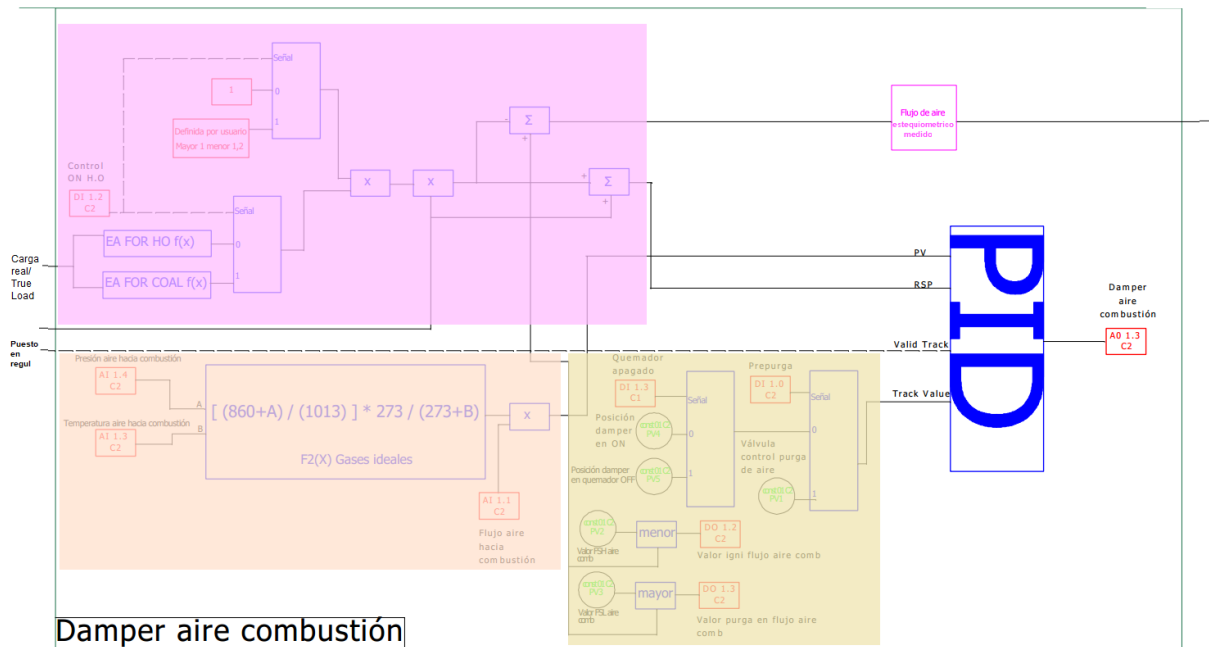


Figura 27. Aire combustión

Fuente: AutoCAD

Esta rutina controla por medio de un PID el flujo de aire de combustión del ventilador de combustión que actúa sobre unas celosías.

Se señala de color naranja claro los siguientes cálculos. De primera mano la variable de flujo de combustión no se mide directamente, sino que por medio del cálculo en una función que recibe tres señales (presión, temperatura y flujo aire volumétrico), se toma las primeras dos señales (presión de combustión y temperatura de combustión) y se aplica la siguiente fórmula de gases ideales:

$$Densidad_{aire\ combustión} = \frac{1013 + P}{1013} * \frac{273}{273 + T} \quad (5.3)$$

Donde:

- P = Presión aire combustión
- T = Temperatura aire combustión

Sus unidades son $\frac{kg}{m^3}$

Estos valores de densidad junto a la señal de flujo de aire volumétrico se usan para obtener el valor de “Aire real” mediante un producto entre ellas, de este modo se logra tener la variable de proceso o “PV” que el PID necesita medir.

Respecto al “Punto de ajuste remoto”, demarcado en rosado, primero, de la rutina de “Consignas” se recibe la marca “Carga real” y dependiendo del estado de la señal “Control encendido del aceite” (desde PLC) ocurre lo siguiente:

- Si está en un estado de encendida (1), se escoge un coeficiente de exceso de aire para el carbón, por medio de una función definida por unos puntos.
- Si está en un estado de apagada (0), se escoge un coeficiente de exceso de aire para el aceite, por medio de una función definida por unos puntos.

Estas funciones de las cuáles se hablan, se presentan al final del **Anexo 8**.

Este coeficiente se multiplica por otro coeficiente que depende de igual manera por la señal “Control encendido del aceite” (desde PLC), en donde ocurre lo siguiente:

- Si está en un estado de encendida (1), se escoge un coeficiente de exceso de aire con un valor de 1,2
- Si está en un estado de apagada (0), se escoge un coeficiente de exceso de aire con un valor de 1.

Estos dos coeficientes se multiplican para obtener un nuevo coeficiente de exceso de aire, que no es en su totalidad práctico porque de nuevo no se considera la composición química del combustible y la calidad de combustión.

Desde la rutina “Consignas” se recibe la marca “Punto de ajuste de Aire Estequiométrico” y del cociente de este con el nuevo coeficiente de exceso de aire se obtiene el Aire de exceso, que sumado con la marca “Punto de ajuste de Aire Estequiométrico”, que se dice que es Aire total estequiométrico, señal que usa el controlador PID para regularse.

La marca de salida “Flujo de aire estequiométrico medido” se obtiene de la resta de aire real menos el aire de exceso.

La señal de forzado en la salida o “Valid Track” depende de la señal que se obtiene de la marca “puesto en regulación” que proviene de la rutina “Carga”.

El valor de forzado, demarcado de amarillo, primero depende de la señal “Quemador apagado”, si esta está encendida envía un forzado del 10% de apertura, pero si la señal está apagada envía un forzado del 20% de apertura. Luego con la señal “Prepurga”, si está encendida se fuerza directamente la celosía del aire a abrirse a su máxima capacidad (100%), pero si estuviese apagada toma el valor de alguna de las señales que se eligieron en el selector anterior (con señal de “Quemador apagado”).

Además de la rutina se toma el valor del “Aire real” y se compara de la siguiente forma

- Si este valor es menor a un flujo de $11\,000 \frac{m^3}{h}$, se enciende la señal “Valor de ignición en flujo de aire de combustión”
- Si este valor es mayor a un flujo de $16\,000 \frac{m^3}{h}$, se enciende la señal “Valor de prepurga en flujo de aire de combustión”

El diagrama se puede ver normalizado en Unity en la siguiente figura.

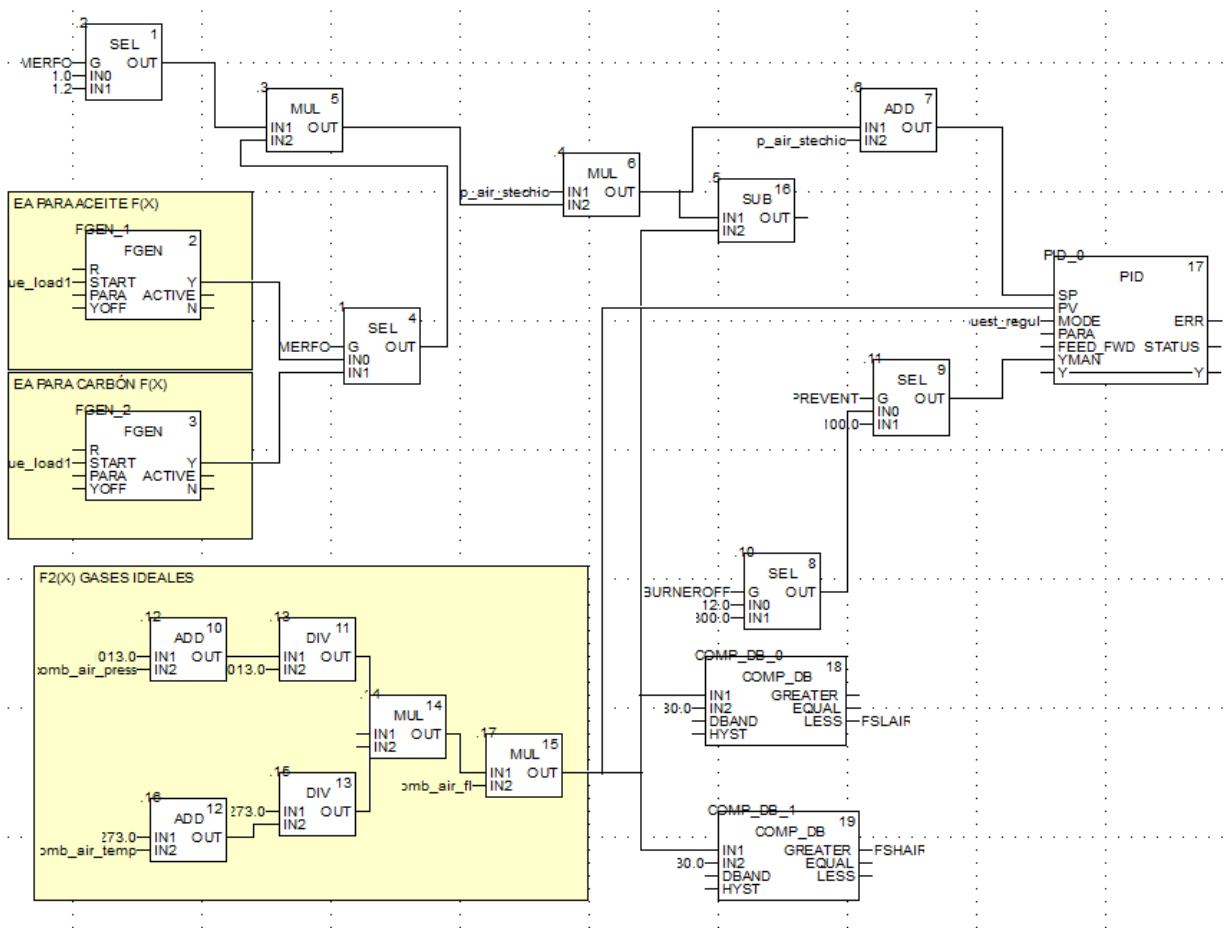


Figura 28. Aire de combustión Unity

Fuente: Unity Pro XL

5.3.7 Flujo de aceite

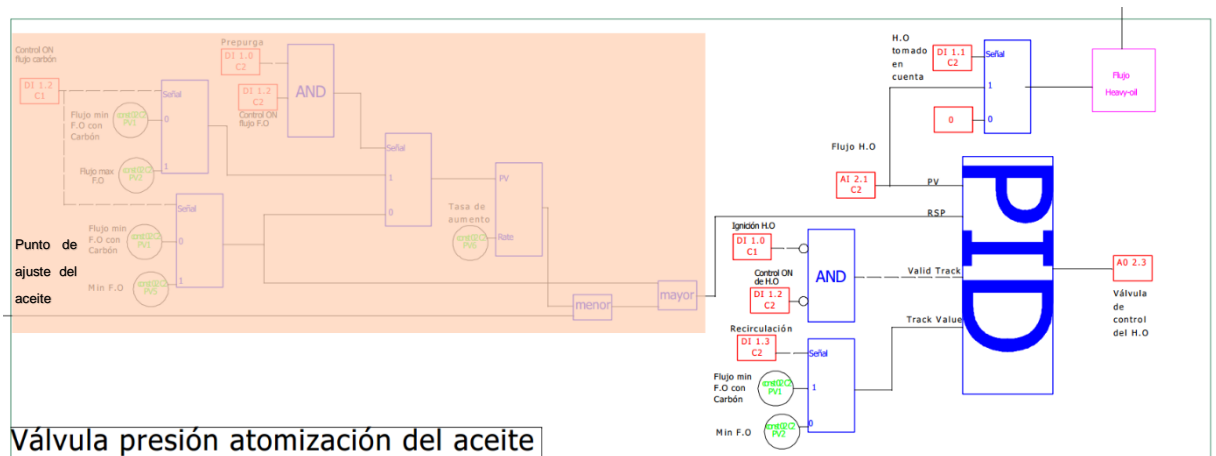


Figura 29. Flujo de aceite

Fuente: AutoCAD

La variable de proceso que necesita el controlador PID se obtiene desde una señal analógica que indica flujo de aceite.

El valor de la marca “Flujo de aceite” depende del estado de la señal “Aceite tomado en cuenta” (desde PLC), si este está encendido se toma la señal analógica del flujo de aceite, si está apagado se toma con un valor de “0”.

El “Punto de ajuste remoto” se obtiene de la siguiente forma, marcado en color naranja claro:

- Si las dos señales “Prepurga” y “Control de encendido del flujo del aceite” (ambas desde PLC) están con un valor de 1 se escoge alguno de los siguientes valores:
 - En este selector #1, si la señal “Control de encendido del flujo de carbón” está encendida se elige un flujo mínimo de aceite con carbón con un valor de 200 kg/h, si estuviera apagada se elige un flujo máximo de aceite de 1533 kg/h.
- Si alguno de las señales o ambas están apagadas o con valor de 0, se elige alguno de los siguientes valores:

- En este selector #2, si la señal “Control de encendido del flujo de carbón” está encendida se elige un flujo mínimo de aceite con carbón con un valor de 200 kg/h, si estuviera apagada se elige un flujo mínimo de aceite de 280 kg/h.

El valor que se escoge se limita a una tasa de aumento del 15 %. Todo esto es por puro condicionamiento de arranque y de uso separado/mixto de combustibles.

Antes que se escoja el valor definitivo este se compara con la marca “Punto de ajuste del aceite” proveniente de la rutina “Consignas” y se elige el valor menor.

Además de esto, el valor que resulte el menor se vuelve a comparar con la salida del selector anteriormente descrito, y se elige el que sea mayor, finalmente se envía este hacia el “punto de ajuste remoto” del controlador PID correspondiente.

La señal de forzado en la salida o “Valid Track” se enciende si están apagadas las señales de “Ignición del aceite” y la de “Control de encendido del aceite” (desde PLC), si alguna está encendida se apaga el forzado.

El valor de forzado depende del estado de la señal “Recirculación”, en donde si está encendida se forzaría a un flujo mínimo de aceite con carbón con un valor de 200 kg/h, si estuviera apagada se elige un flujo máximo de aceite de 1533 kg/h.

El diagrama se puede ver normalizado en Unity en la siguiente figura.

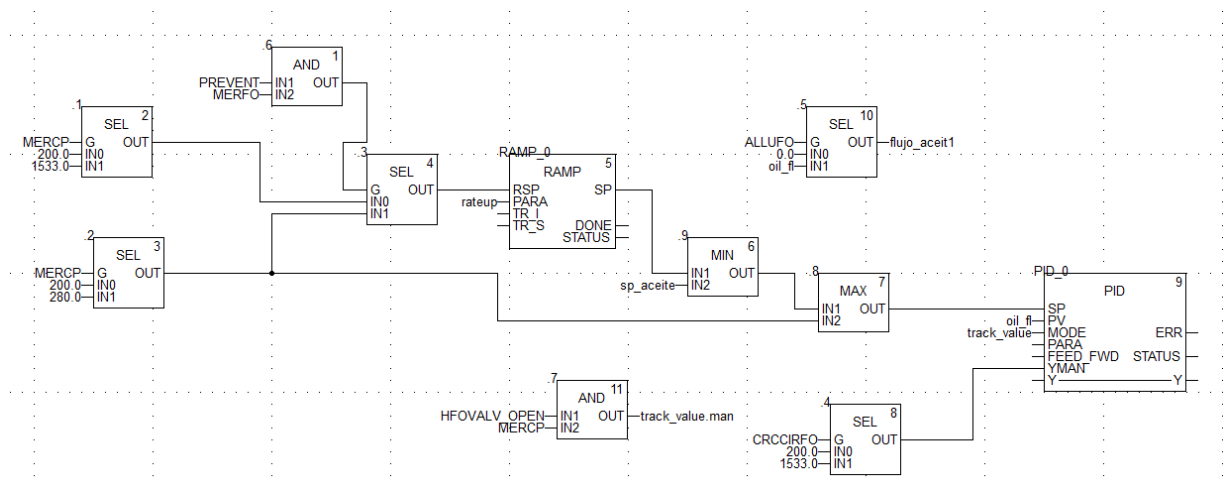


Figura 30. Flujo de aceite Unity

Fuente: Unity Pro XL

5.3.8 Atomizador

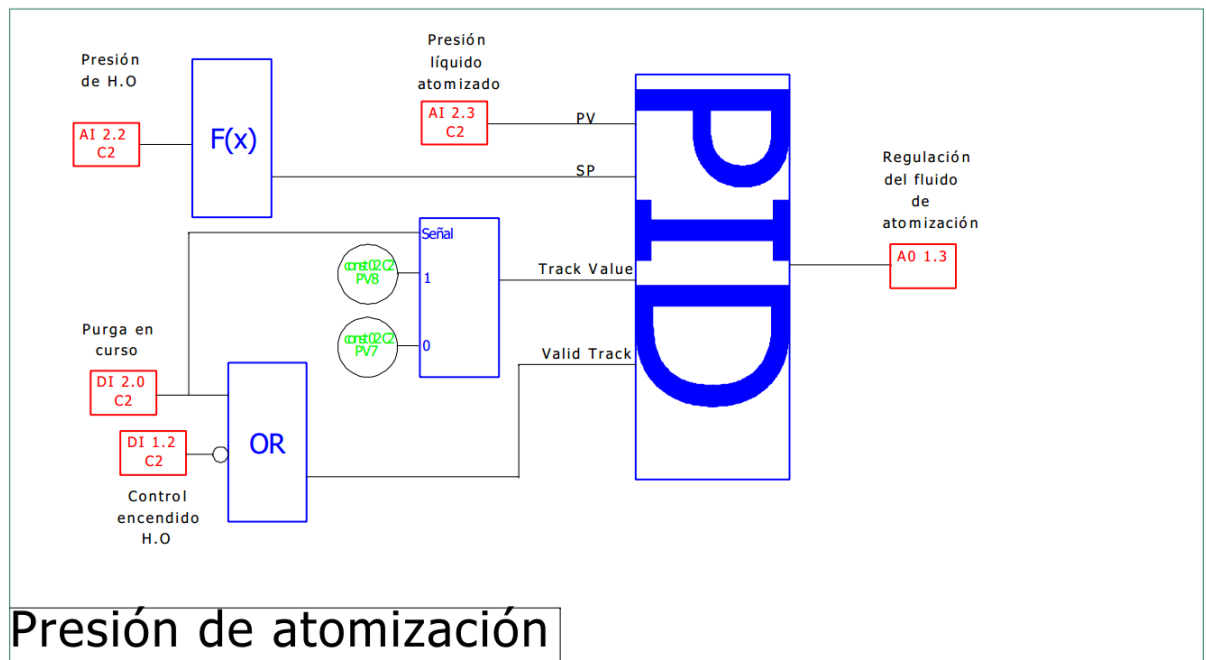


Figura 31. Regulación atomización

Fuente: AutoCAD

El control PID de este recibe en la variable de proceso una señal analógica de presión de líquido atomizado, como “punto de ajuste remoto” desde una señal

analógica de presión del aceite se toma el valor de salida de la función mostrada al final del **Anexo 8**.

La señal de forzado en la salida o “Valid Track” se enciende la señal de “Purga en curso” está encendida o si la señal de “Control de encendido del aceite” está apagada (desde PLC), nada más.

El valor de forzado depende de la señal de “Purga en curso” (PLC), en donde si esta está encendida fuerza una abertura máxima en la válvula durante el barrido (100%) sino fuerza un porcentaje mínimo de abertura (20%).

El diagrama se puede ver normalizado en Unity en la siguiente figura.

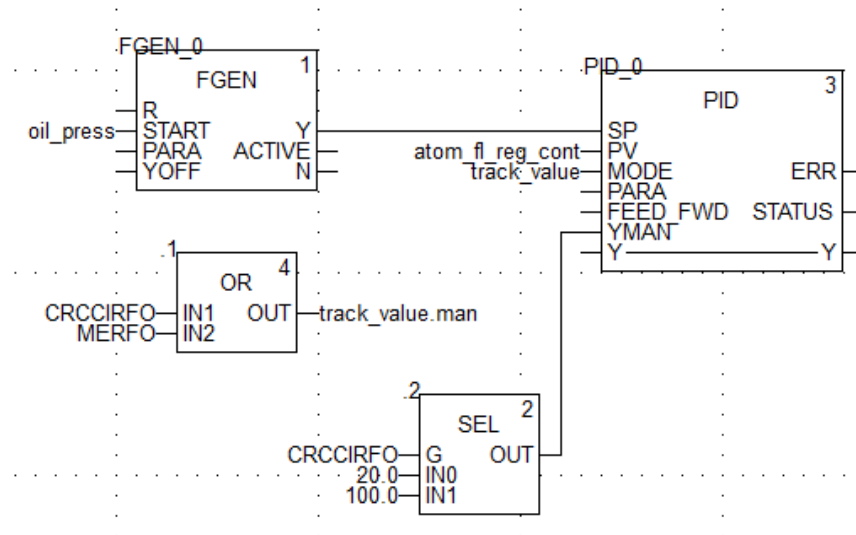


Figura 32. Regulación atomización Unity

Fuente: Unity Pro XL

5.4 Mejoras a futuro

Se observó en la descripción del funcionamiento del control del generador de gases calientes la existencia de varios eslabones débiles que reducen la exactitud del programa y que se pueden mejorar considerablemente, entre los que se encuentran:

- En la rutina de carga se usa un PID para regular una señal ingresada por el usuario, tanto el valor de lectura, el punto de ajuste remoto y demás variables

tienen la misma entrada analógica, por lo que se considera innecesario su uso. Esto se habló con el ingeniero en automatización Carlos Ureña y dijo que se tenía que probar cuando se migre el sistema a ver si en realidad es necesario.

- b. El punto de ajuste remoto del regulado PID de la rutina está fijo y no se puede cambiar en el programa actual, se propone dejar el valor libre para regular de mejor manera y de hecho este se va a necesitar cambiar para otra propuesta a mostrar.
- c. Unir la lógica de dosificación con la señal recibida por el cálculo dentro de la rutina de “puntos de ajuste” para que el operador no tenga que estar agregando manualmente el valor que se obtiene dentro del controlador del dosificador, que está por fuera de los controladores.
- d. El hecho que se tome como una constante el poder calorífico, para obtener el aire estequiométrico, y las relaciones aire/combustible, para obtener la carga actual del sistema así como el punto de ajuste del aceite, hacen constar que el HGG no esté trabajando para condiciones de operación adecuadas, como si las composiciones químicas de los combustibles fueran fijas (lo cual no es cierto porque por ejemplo la procedencia de los combustibles puede cambiar, cambiando también su composición), además que este fue diseñado para utilizar Búnker/Carbón y que actualmente use Aceite/Carbón. Con esto se abre una nueva inconclusa sobre la eficiencia del sistema respecto al potencial calorífico que se tiene con los combustibles y que no se está aprovechando por los ajustes actuales en la lógica. A todo esto, se podría usar un analizador de gases de combustión a la salida del quemador dentro del HGG, esto para la verificación de una correcta combustión mediante la lectura que se pueda brindar, en otras palabras, un sistema que se autoajuste mucho más inteligentemente. Cabe resaltar que, aunque no fue un requerimiento de Holcim analizar la eficiencia, no está demás poder demostrar que se podría corregir para poder obtener más beneficios con toda la investigación y caracterización ya realizada.

Capítulo 6. Evaluación eficiencia combustión

6.1 Generalidades

El análisis de eficiencia para una máquina de este tipo no conlleva muchos cálculos, pero sí muchas consideraciones, para poder realizarlo, se necesitó la consulta de muchos departamentos para obtener la información y datos importantes. El molino de puzolana opera en horarios diferentes al horario de oficina, por lo que para alguna toma de datos se tenía que avisar a operadores de turno nocturno entre fines de semana. También al recibir los datos se tuvieron que promediar debido a que el sistema hace un guardado de todas las variables cada 30 segundos y como usualmente es encendido un viernes a las 8:00 pm y se apaga un lunes a las 9:00 am se obtuvieron una gran cantidad. Estas y otras cosas más guiaron al número porcentual en donde se pudo descubrir un poco más del funcionamiento de la máquina.

6.2 Consideraciones

Según (Cengel & Ghajar, 2011) el balance de energías es una aplicación de la primera ley de la termodinámica en condiciones de flujo estacionario:

$$\sum_{i=salidas} E_i + \text{Pérdidas} = \sum_{i=entradas} E_i \quad (6.1)$$

El E_i es la energía de una corriente cualquiera i , sumando todos los contenidos de energía de las corrientes.

En la entrada se tiene un flujo másico de combustible que contiene un poder calorífico aproximado, entonces:

$$E_{entrada} = \sum_{i=PCI} \text{flujo combustible}_i * PCI_i \quad (6.2)$$

Si la reacción química libera energía como la combustión, el contenido de energía de cualquier corriente se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$E_{salida} = m_i \int_{T_{ref}}^T C_{p_i} * dT + Pérdidas_{paredes} \quad (6.3)$$

Donde m_i es el flujo másico o molar de la corriente i , C_p es el calor específico (**Anexo 11**), T_{ref} la temperatura de referencia y T_i la temperatura de corriente i .

No se puede omitir el hecho que haya pérdidas, las más importantes para el estudio de la eficiencia son en las paredes del HGG, mayormente por el efecto de la conducción.

Para estas pérdidas se debe de considerar lo siguiente:

$$Q_{conducción} = K * A * \frac{\Delta T}{L} \quad (6.4)$$

En donde

- K es la constante de conductividad térmica para el material del HGG que es ladrillo refractario (**Anexo 13**)
- A , el área del objeto en estudio, siendo el producto del diámetro de la estufa por la altura de esta y la constante π (π)
- El ΔT la diferencia entre la temperatura de la cámara de combustión y la temperatura ambiente
- L , el espesor de la cámara de combustión

Todos estos valores se deben de tomar del **Anexo 13**, marcado en color verde. Los datos de flujo se tomaron de varias corridas en un fin de semana de funcionamiento, pero es tanta la cantidad que adjuntarlos no es necesario, aproximadamente 1566 por variable, que promediados dieron los siguientes valores:

Tabla 5. Datos promedio del funcionamiento molino puzolana

Temperatura salida HGG	Flujo carbón	Flujo aceite
334,32	59,76	605,58

Flujo aire combustión	Temperatura dilución secundaria	Temperatura dilución primaria
38,21	652,72	794,48
Temperatura dilución primaria otra cara	Temperatura aire combustión	Control ventilador combustión
843,02	25,91	9211,85

Fuente: Departamento de mantenimiento, Holcim Costa Rica

Los datos de flujo de aire no se miden de manera directa, por lo tanto, se preguntó al departamento de producción y afortunadamente ellos cuentan con una hoja de Excel en donde eso se calcula, como se muestra en la siguiente figura.

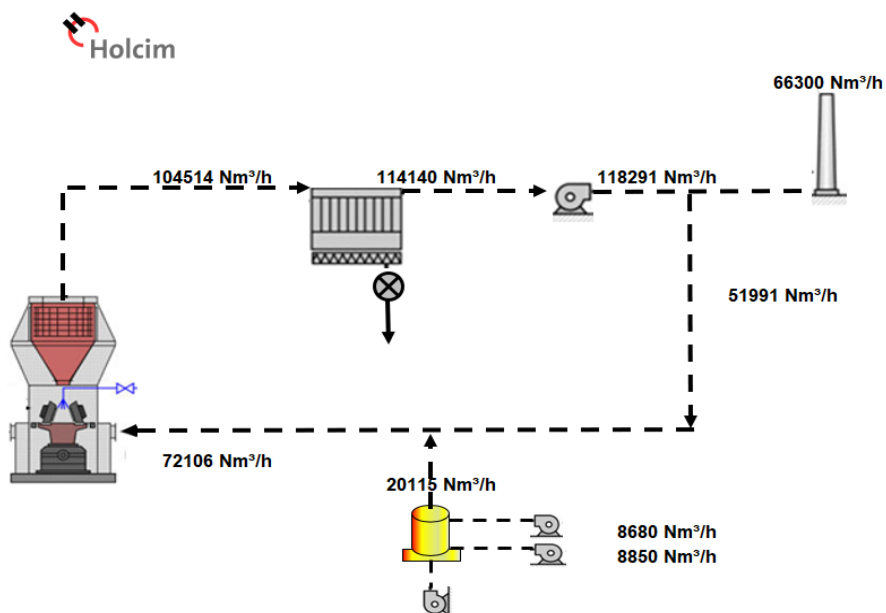


Figura 33. Flujo de aire normalizado del molino de puzolana

Fuente: Departamento de producción, Holcim Costa Rica

Para obtener el flujo en kilogramos por hora en el HGG marcado de color amarillo, primero se toma el flujo normalizado que indica la imagen, y se multiplica por un factor de densidad también normalizado, de la siguiente tabla.

Tabla 6. Densidad gases normalizados

Gas	Densidad (kg/m³)	
	NTP	STP
Acetileno (C₂H₂)	1,092	1,17
Aire	1,205	1.293
Amoniaco (NH₃)	0,717	0,769
Butano (C₄H₁₀)	2,489	2,5
Cloro (Cl₂)	2,994	3,21
Cloruro de Hidrógeno (HCl)	1,528	-
Criptón (Kr)	-	3,73
Dióxido de Azufre (SO₂)	2,279	2,926
Dióxido de Carbono (CO₂)	1,842	1,977
Etano (C₂H₆)	1,264	-
Ethyne (C₂H₄)	-	1,26
Flúor (F₂)	1,574	1,7
Helio (He)	0,1664	0,178
Hidrógeno (H₂)	0,0893	0,09
Metano (CH₄)	0,668	0,717
Monóxido de Carbono (CO)	1,165	1,25
Neón (Ne)	-	0,90
Nitrógeno (N₂)	1,165	1,25
Óxido Nítrico (NO)	1,249	-
Oxigeno (O₂)	1,331	1,429
Propano (C₃H₈)	1,748	-
Radón (Rn)	-	9,73
Xenón (Xe)	-	5,89

Fuente: (Valvias, 2013)

6.3 Eficiencia

En el **apéndice 6** se muestran los cálculos de la eficiencia con el que cuenta el sistema actualmente, que de manera resumida se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7. Resumen cálculo de eficiencia

Dato	Valor
Q_{entrada}	7,14 MW
Q_{salida}	5,52 MW
Eficiencia	77,31 %
Pérdidas_{conducción}	46 kW
Otras pérdidas	1 574 KW

Muchos autores como (Council of Industrial Boiler Owners, 1997), (Spirax Sarco , 2017) y mayormente (Oka, 2004) hablan sobre los porcentajes de eficiencia que deberían tener una máquina térmica pero se detalla que la combustión debería ser lo más eficientemente posible; el hecho que se considere la parte del HGG para el estudio significa que se está analizando la eficiencia de la combustión y no la del sistema completo (eliminando el proceso de transferencia de calor a la puzolana del molino), por lo tanto esta eficiencia debería estar en un valor alto.

La literatura se refiere a valores de eficiencias del 85% hasta 95%, respecto a la combustión, así para que la eficiencia del sistema completo (tomando en cuenta ahora sí la transferencia de calor a la puzolana) se mantenga entre 60% - 80%.

Cabe resaltar que no se puede comparar directamente la eficiencia de un generador de gases calientes con la de una caldera porque, aunque tengan un sistema de regulación similar y lleven un proceso parecido, esta última calienta agua y el HGG aire, que son diferentes reacciones químicas que varían al final las consideraciones energéticas.

A primera vista se observa la pérdida de potencial de energía en la salida del HGG, que da como resultado el valor de eficiencia del 77%, las pérdidas más significantes

son por conducción en la pared (se desprecia por radiación ya que en la literatura se dice que se aproxima a menos de 1% de las totales), estas se calculan tal y como también se muestra en el **apéndice 6**, la cual es relativamente baja respecto a la pérdida total del sistema y por las cuales se obtienen las “Otras pérdidas”, las que se desconocen su motivo.

6.4 Posibles motivos de la eficiencia

El hecho que exista 1,574 MW de pérdidas en una hora llama la atención ya que es bastante alto, por lo que se necesita un análisis para decir el porqué.

La potencia de diseño de la estufa es aproximadamente 17 MW, esto en función de la humedad para la que venga la puzolana, tal y como se observa en el **Anexo 14**. El hecho que se use un poco más de la mitad de esta potencia indica que no se trabaja nominalmente, por consultas al departamento de Producción se dice que esta nunca sobrepasa los 8,5 MW entonces esta está sobre diseñada y puede ser un indicador de lo que está pasando.

Dentro de la cámara de combustión, como se ha explicado anteriormente, se produce la llama que calienta los aires, esta se combina primero con un aire de dilución primaria, luego con un aire de dilución secundaria y finalmente un aire terciario, tal y como se muestra en la siguiente figura.

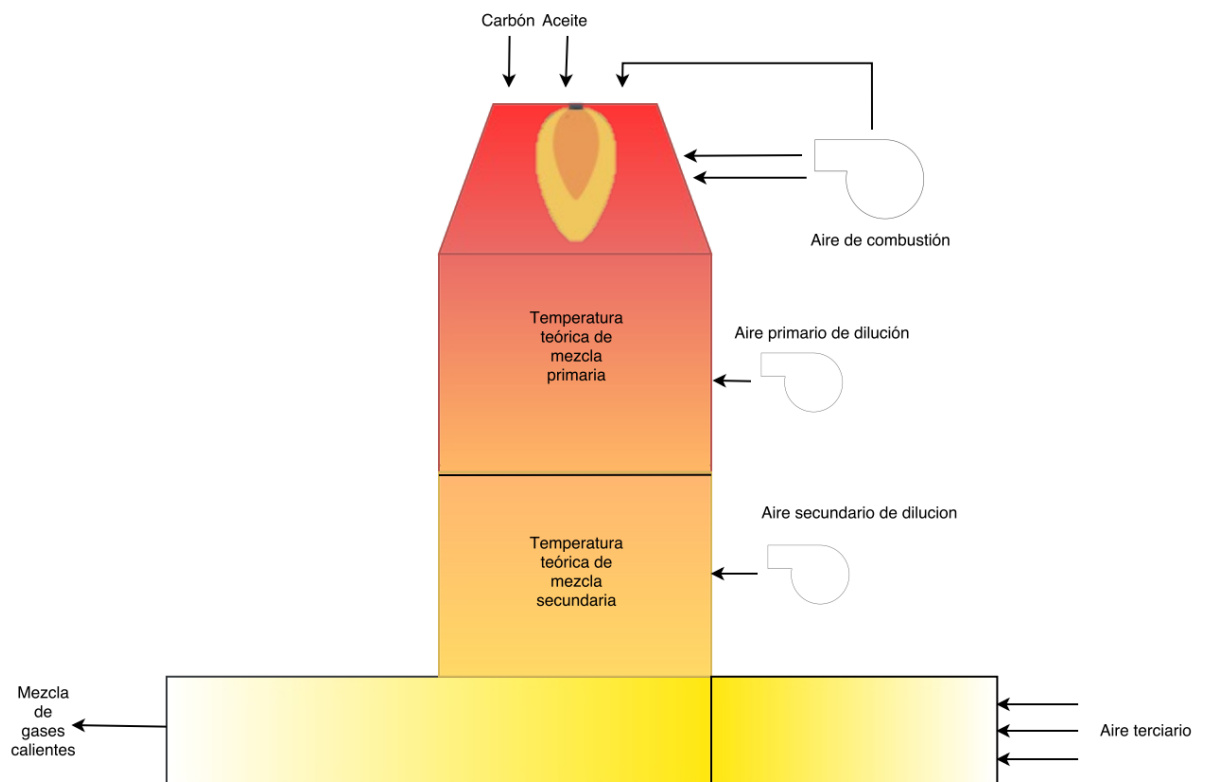


Figura 34. HGG

Fuente: Draw.io

Si el aire de combustión que usa para la reacción química no cumpliera estequiométricamente con el combustible esta nunca ocurrirá eficientemente. En esto pueden ocurrir 2 escenarios:

- Faltante de aire, reduce el oxígeno para la reacción quedando combustible sin poder reaccionar al máximo, se producen sustancias tóxicas y contaminantes, entre ellos el monóxido de carbono (CO) o también formación de hollín (carbono) muy visible.
- Sobre-exceso de aire, donde habrá mucho O_2 , reduce la temperatura de la llama dificultando que esta logre la temperatura que se deseada.

El último caso se llama sobre-exceso para recordar que la combustión necesita 2 aires para que funcione correctamente, el aire estequiométrico y un exceso, si a esto se le suma el flujo que se le agrega por dilución primaria, como ocurre en la parte de

“Temperatura de mezcla teórica de dilución primaria” en la figura 33, y además algo extra por mal cálculo del sistema, la llama reducirá su temperatura además su eficiencia por intentar calentar inútilmente una cantidad de aire excesiva, esto se ve mejor en la siguiente figura.

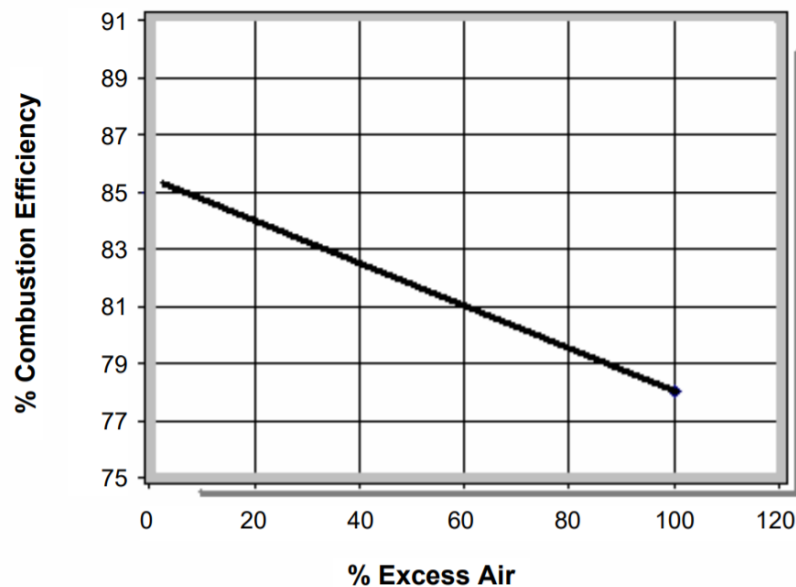


Figura 35. Eficiencia combustión VS exceso de aire

Fuente: (TSI Incorporated, 2004)

La temperatura teórica a la que puede llegar la “Temperatura de mezcla teórica de dilución primaria” se calcula por medio de los datos en la Tabla 5 e iteraciones estequiométricas (suponiendo un exceso de aire de 20%, recomendando en la literatura) y se obtiene un valor de 1152 °C (**Apéndice 7**), o sea, que la llama a esas condiciones perfectas puede llegar hasta esa temperatura. Este dato se puede comprobar por parte de Pillard, en el **Anexo 2**, hoja 5, punto 2.3.1 se indica textualmente que “El lazo de la temperatura de dilución primaria ajusta la temperatura de dilución primaria (1050 °C) mediante el transmisor de temperatura y control del ventilador de dilución primaria”, estas, aunque tengan una diferencia andan por un rango similar.

Si toma la temperatura teórica a la que se puede llegar y se compara ese dato con la medida “Temperatura dilución primaria” y “Temperatura dilución primaria otra cara” de la tabla 5 (valores medidos), se nota una diferencia de hasta de 300 °C, indicando una baja temperatura de llama.

Suponiendo que el sistema esté en condición de sobre-exceso de aire por las razones anteriores, si este sufre un aumento de carga se puede pasar a la condición de faltante de aire, la cual es un hecho debido a que dentro del HGG se presentan rastros de hollín (mala combustión carbón) y que se adecuen a los estudios del análisis de emisión de gases (mala combustión aceite).

Se puede decir que la única explicación del valor de la eficiencia es la incorrecta combustión, porque como se detalló específicamente dentro de la explicación de la estrategia de control, este sistema toma el valor del flujo de aceite así como del carbón y los multiplica por una constante PCI, para el aire estequiométrico necesario, y una constante PCO para obtener la potencia de la estufa, ambos afectando al punto de ajuste del aire de combustión, sin antes hacer un análisis de la situación de la combustión, para saber si está en condición de sobre-exceso de oxígeno o con faltante.

Por lo tanto, para la situación descrita durante este capítulo se llega a entender que se necesita una retroalimentación del sistema para poder realizar una combustión eficiente en donde se aproveche el flujo del o los combustibles usados.

Se propone entonces un analizador de gases, que tome las señales y mediante un algoritmo haga algunos cálculos estequiométricos y se envíen nuevas señales para lograr lo deseado.

Capítulo 7. Propuesta de rediseño

7.1 Generalidades

Principalmente se consideró dos propuestas que pueden apoyar a la mejora del sistema, primero el uso de un intercambiador de calor que pueda aumentar la temperatura del aire de combustión con una toma desde la estufa y el control del aire de combustión junto con el control del aire primario y secundario de dilución utilizando un analizador de gases

7.2 Intercambiador de calor – Propuesta 1

Para esta propuesta se pretende mejorar la eficiencia de combustión recalentando el aire de combustión con una toma de aire de la estufa, tal y como muestra la siguiente figura.

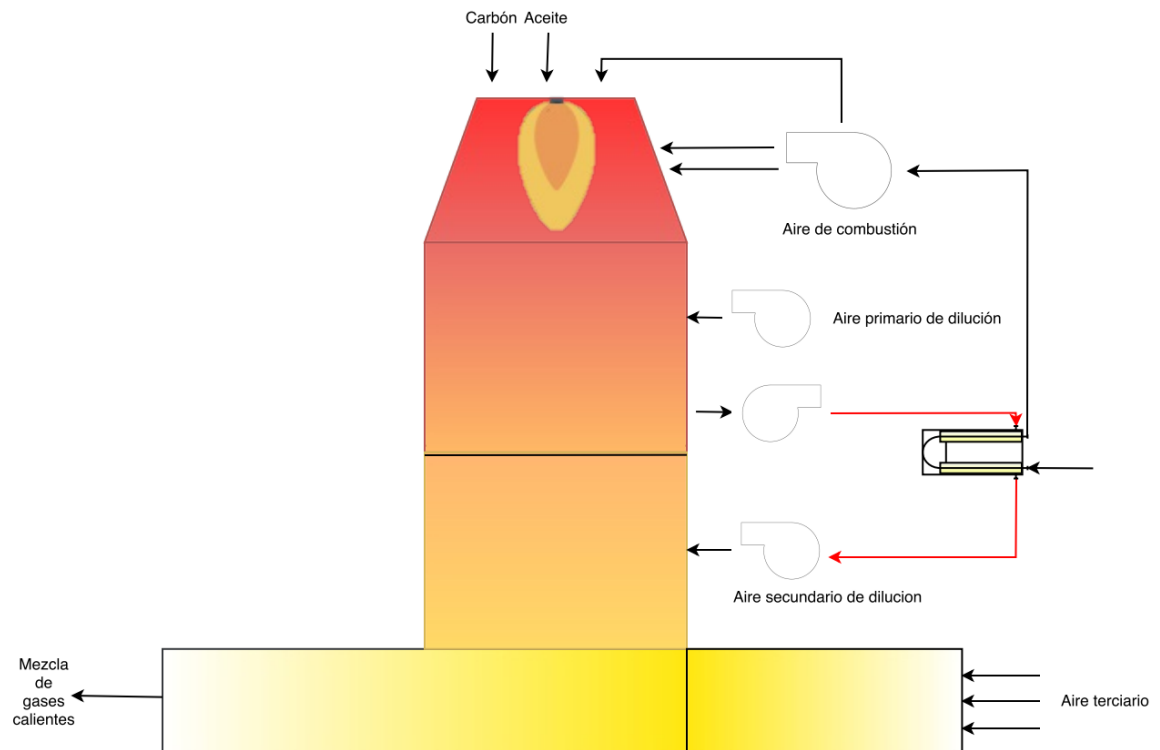


Figura 36. HGG con intercambiador

Fuente: draw.io

En la figura 36 se muestra que para calentar el aire de combustión se tiene que instalar un nuevo ventilador en medio del aire de dilución primaria y secundaria que extraiga aire caliente y lo reinyecte hacia el aire secundario de dilución, esto no afectaría el proceso ya actual, pero hay que considerar varios aspectos.

Se puede relacionar el sistema como un economizador dentro de una caldera, nada más que para este caso sería para el aire.

Esto tiene la ventaja de aumentar el rendimiento del HGG, de una forma no tan controlable aparte que puede reducir el choque térmico que puede sufrir esta, ya que no tiene que calentar el aire a temperatura ambiente, sino a una temperatura de 75 a 100 grados Celsius.

La desventaja de este sistema es el costo y la dificultad de la implementación, a pesar de que es un sistema simple, la cotización no se logró de manera adecuada, pero se aproxima como la solución más cara.

7.3 Analizador de gases – Propuesta 2

Según (TSI Incorporated, 2004) el análisis de combustión es un equipo que implica la medición de concentraciones, temperaturas y presión de los gases para calibraciones de quemadores, usualmente contiene chequeos de emisiones y mejoras de seguridad. Los parámetros que usualmente se examinan son:

- a. Monóxido de carbono (CO) (%)
- b. Dióxido de carbono (CO₂) (%)
- c. Metano (CH₄) (%)
- d. Dióxido de azufre (SO₂) (%)
- e. Dióxido de nitrógeno (NO₂) (%)
- f. Vapor de agua (H₂O) (%)
- g. Nitrógeno (N₂) (calculado)
- h. Hidrógeno (H₂) (%)
- i. Hidrocarburos (C_nH_m) (%)

j. Otros

La medida de estos puede ser porcentual o una aproximación por medio de cálculos, no todos los analizadores pueden medir todos estos compuestos/elementos a la misma vez, esto va a depender del precio y diseño del analizador de gases.

Para poder realizar la medición se necesita una muestra de aire ya caliente, en donde están los productos de la combustión, pasa a un gabinete de análisis donde se filtran de varias formas para ser analizado por medio de sensores infrarrojos y así obtener los porcentajes de volumen de cada compuesto, estos tienen precisión definida y son enviados por medio de un PLC integrado a sus módulos de salida en forma de señales de 4-20 mA, para ser utilizados en algún otro proceso, esto se observa mejor en la siguiente figura.

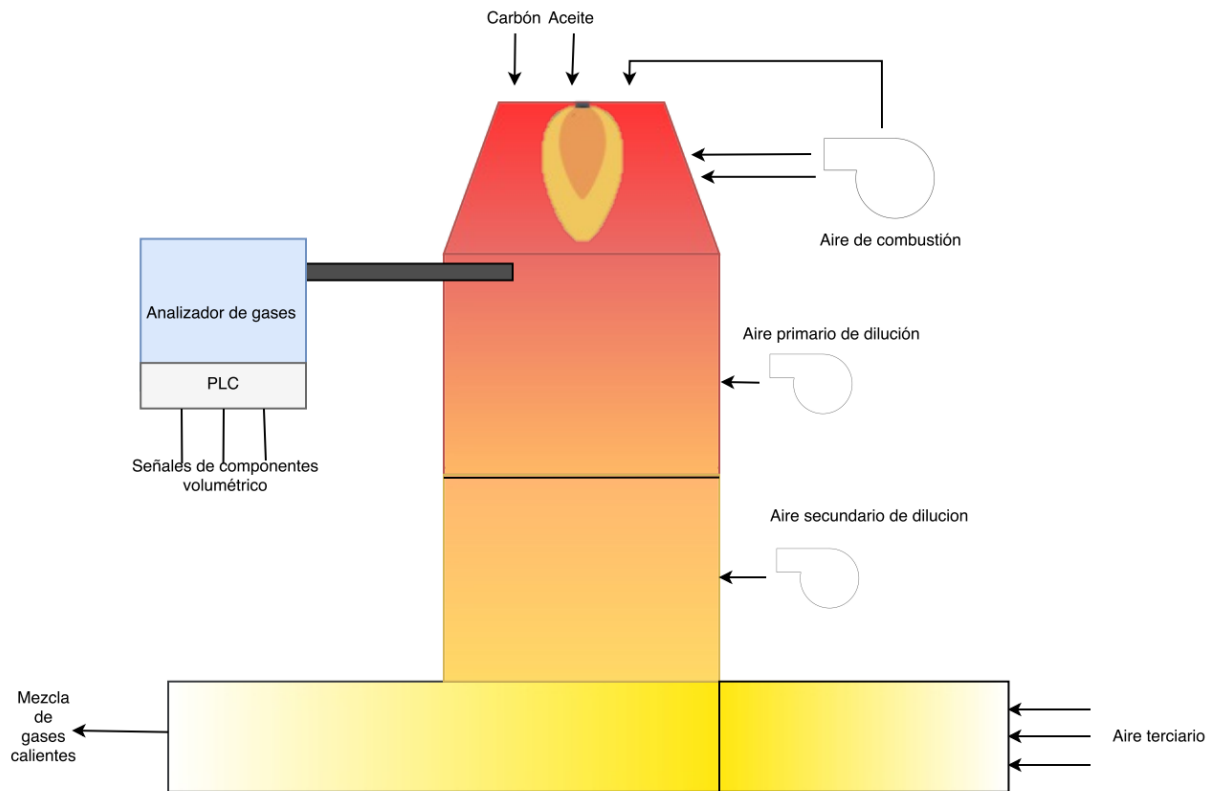


Figura 37. HGG con analizador de gases

Fuente: draw.io

Es importante considerar el tiempo de respuesta del analizador y elegir el que tenga el menor para así poder obtener una medida casi inmediata y poder corregir los parámetros de combustión. Es importante recalcar que el uso de este sistema trae consigo ventajas, se puede tener un mayor control del proceso, aumentando la eficiencia de una manera más reflejada, puede ayudar a la emisión de gases tóxicos y que contaminen el ambiente además de otros que se detallarán más adelante.

La desventaja es que requiere un diseño más detallado y un proceso de pruebas para poderlo calibrar de mejor manera, no resulta ser una solución tan cara respecto a lo que se está gastando por la mala combustión

7.4 Propuesta de rediseño para el control escogida

Finalmente se toma la propuesta número 2, pero por el momento, con el control del aire de combustión de individual sin eliminar los controles actuales de los aires primarios y secundarios de dilución ni los sistemas de arranque, debido a la situación en que se encuentra el proyecto de migración actualmente, donde hacen faltas depuraciones de la estrategia del diagrama de control que se hizo, además que según el último análisis de gases que se le hizo a la máquina, este muestra valores de emisión cerca de los límites que establece la ley (por cuestiones de confidencialidad no se puede mostrar), esto le da prioridad a una propuesta que se centre en reducir esta concentración en condiciones faltantes de oxígeno.

La propuesta escogida va de la mano con un analizador de gases permite el análisis de la calidad de la combustión y retroalimentación del cálculo de consignas para regular el sistema, el asunto ronda en la escogencia del analizador correcto que pueda brindar los valores porcentuales por volumen de cada gas. Para esto se tomaron cotizaciones ya hechas de unos proyectos que actualmente se están realizando, para así ver la mejor opción de calidad, precio y servicio técnico. La propuesta va en coordinación con el funcionamiento actual del sistema, siempre manteniendo condiciones de arranque, pero mejorándose en condiciones ya estables de funcionamiento.

Para la propuesta se tomó en consideración 2 grandes debilidades que cuenta el sistema, el sistema que calcula el aire estequiométrico y el que calcula la carga actual, se les diseñó un algoritmo tomando las señales dadas por el analizador de gases, estas se explicarán a continuación.

7.4.1 Función aire nuevo (para aire estequiométrico)

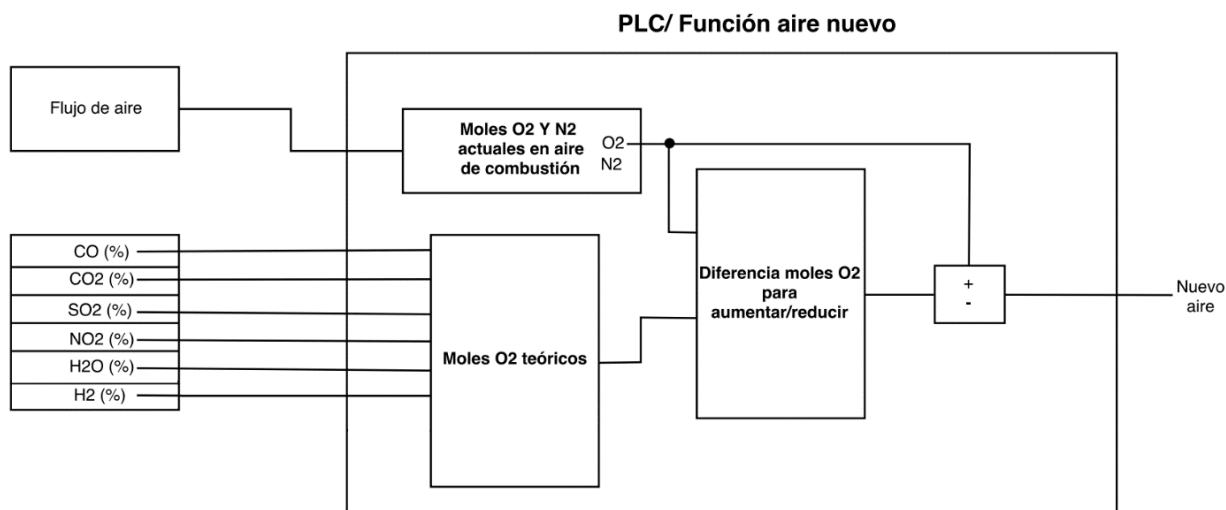


Figura 38. Función aire nuevo

Fuente: draw.io

Esta función primero toma la señal de flujo de aire de combustión que está dado en unidades normalizadas, por medio del producto con una densidad normalizada (tabla 6) se obtiene el flujo en kg/h. Este flujo de aire porcentualmente contiene la siguiente composición:

- 78,08 % de nitrógeno
- 20,94 % de oxígeno
- 0,035 % de dióxido de carbono
- 0,93 % de gases inertes, como argón y neón

Multiplicando el flujo de aire por el porcentaje de oxígeno y nitrógeno y luego por la masa molar que cada elemento, se obtiene el número de moles de cada elemento y

se guardan dentro de una variable “X” y “Y”, respectivamente, siendo estas el “número de moles prácticos” dentro del aire de combustión.

Se necesita conocer la relación molar de oxígenos para que cada elemento se oxide estequiométricamente, mostrada a continuación (siendo a, b, c, d y e constantes):

*Por cada $a * CO \rightarrow 2a * \text{Oxígenos}$*

*Por cada $b * CO_2 \rightarrow 2b * \text{Oxígenos}$*

*Por cada $c * H_2 \rightarrow c * \text{Oxígenos}$*

*Por cada $d * H_2O \rightarrow d * \text{Oxígenos}$*

*Por cada $e * SO_2 \rightarrow 2e * \text{Oxígenos}$*

*Por cada $f * NO_2 \rightarrow 2f * \text{Oxígenos}$*

Entonces el número de moles de oxígeno finalmente van a estar dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Moles de oxígeno teóricos} = 2a + 2b + c + d + 2e + 2f \quad (7.1)$$

Ahora se realiza el mismo procedimiento para las señales que da el analizador de gases pero que implican oxígeno dentro de su reacción química (CO, CO₂, H₂, H₂O, SO₂ y NO₂), se toma el flujo volumétrico de la mezcla de combustión (aire y combustibles usados), se multiplica por la densidad del elemento analizado (tabla periódica), se divide entre la masa molar de cada uno (tabla periódica) y se aplica la ecuación 7.1

Como siguiente paso se obtiene la diferencia entre los moles de oxígeno prácticos menos el número de moles teóricos, se le llama a esto “diferencia de moles”, si esta diferencia da un número negativo significa que hay un faltante de oxígeno por lo tanto se suma el valor absoluto de esa diferencia con los moles de oxígeno prácticos, en cambio si la diferencia da un número positivo indica que hay un exceso, por esta razón se restan los moles de oxígeno prácticos menos el valor absoluto de la diferencia.

Estos moles se devuelven a un flujo de aire normalizado, multiplicándolo por la masa molar (tabla periódica), dividiéndola entre el porcentaje de oxígeno en el aire y entre la

densidad normalizada (tabla 6), esto para enviarse como nueva señal de aire estequiométrico. El algoritmo se puede observar de mejor manera en la siguiente figura.

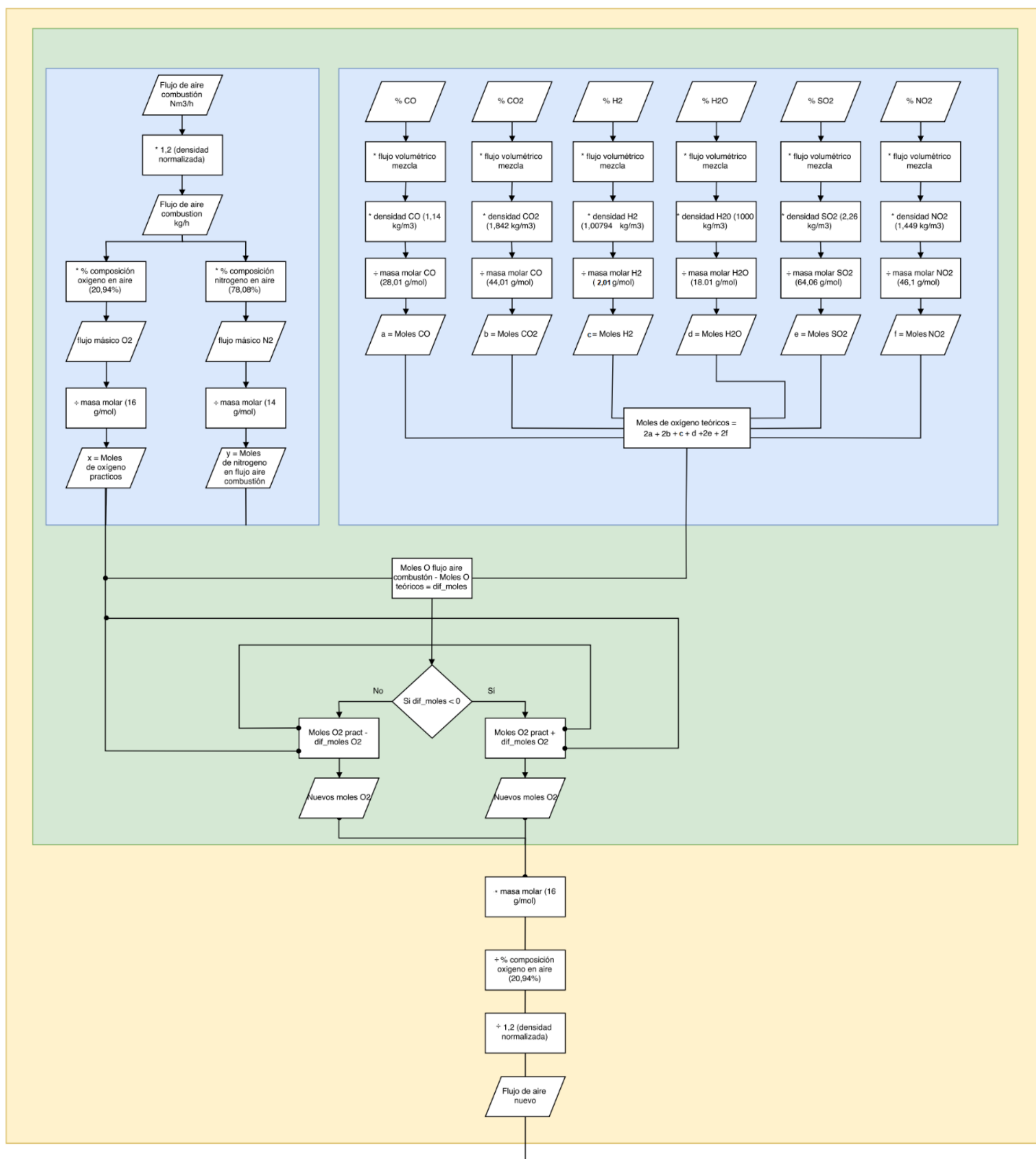


Figura 39. Diagrama de flujo rutina aire nuevo

Fuente: draw.io

7.4.2 Función carga nueva (para Carga real)

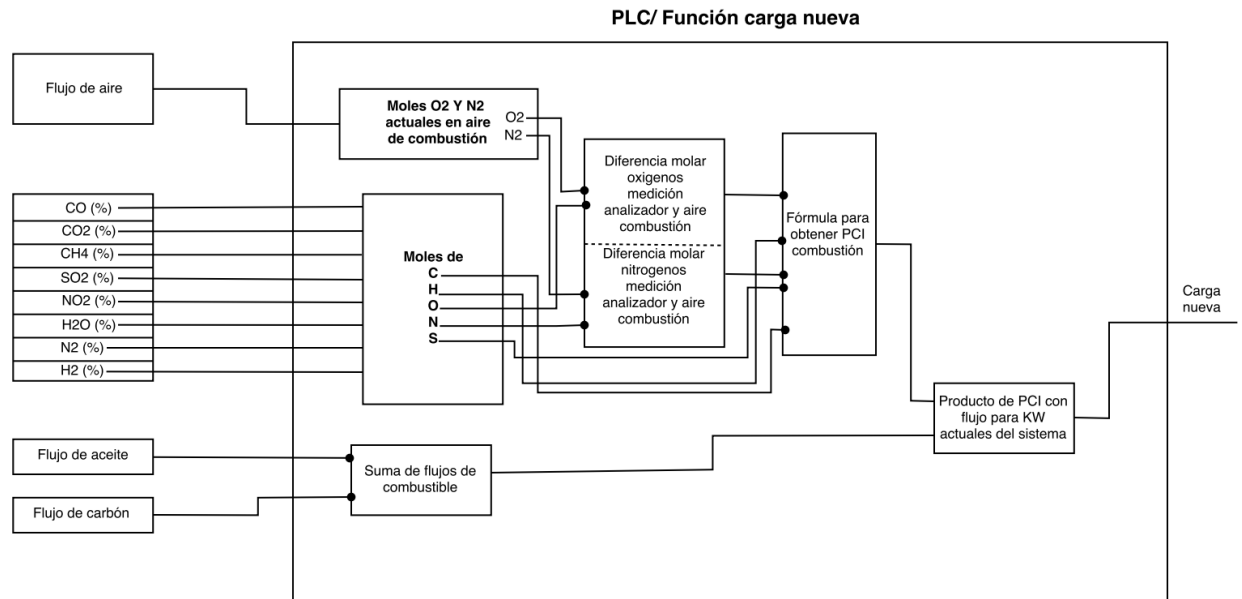


Figura 40. Función carga nueva

Fuente: draw.io

Para esta función se calculan los moles que actualmente existen dentro del flujo de aire de combustión, tal y como se calculó para la función anterior.

Se necesita saber los moles de cada elemento que se tiene dentro de la combustión, se obtienen por medio de las relaciones molares de cada compuesto, que se muestran a continuación:

$$\text{Por cada } a * CO \rightarrow \begin{cases} a * \text{Oxígenos} \\ a * \text{Carbonos} \end{cases}$$

$$\text{Por cada } b * CO_2 \rightarrow \begin{cases} b * \text{Carbonos} \\ 2b * \text{Oxígenos} \end{cases}$$

$$\text{Por cada } c * H_2 \rightarrow 2c * \text{Hidrógenos}$$

$$\text{Por cada } d * H_2O \rightarrow \begin{cases} 2d * \text{Hidrógenos} \\ d * \text{Oxígenos} \end{cases}$$

$$\text{Por cada } e * SO_2 \rightarrow \begin{cases} e * \text{Azufres} \\ 2e * \text{Oxígenos} \end{cases}$$

$$\text{Por cada } f * NO_2 \rightarrow \begin{cases} f * \text{Nitrógenos} \\ 2f * \text{Oxígenos} \end{cases}$$

$$\text{Por cada } N_2 \rightarrow 2g * \text{Nitrógenos}$$

Entonces el número de moles para cada elemento se dan en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Carbonos} = a + b \quad (7.2)$$

$$\text{Hidrógenos} = 2c + 2d \quad (7.3)$$

$$\text{Oxígenos} = a + 2b + d + 2e + 2f \quad (7.4)$$

$$\text{Nitrógenos} = f + 2g \quad (7.5)$$

$$\text{Azufres} = e \quad (7.6)$$

Se obtiene el número de moles de oxígeno y nitrógeno solamente provenientes por parte del combustible, esto mediante la resta de los moles en la medición del analizador (ecuación 7.4 para oxígenos y 7.5 para nitrógenos) menos los calculados en el aire de combustión, se guarda su valor en una variable “Ot” para los oxígenos y “Nt” para los nitrógenos, con esto ya se tiene los moles que aporta el combustible.

Seguido se saca la masa en gramos que aporta cada elemento mediante el producto del número de moles (solo para el oxígeno y el nitrógeno se usan las variables “Ot” y “Nt”, anteriormente descritas, los demás se usan las ecuaciones 7.2, 7.3 y 7.6) y la masa molar de cada uno. Mediante la sumatoria de todas estas masas se obtiene la masa total, aportada por el combustible.

El porcentaje de masa que aporta cada elemento se realiza mediante el cociente de la masa de cada elemento entre la masa total.

Y por medio de la fórmula obtenida por (Basu, 2013), que se muestra a continuación:

$$PCI = \%masa_{carbon} * 0,349 + \%masa_{hidrogeno} * 1,1783 + \%masa_{azufre} * 0,1005 \quad (7.7) \\ + \%masa_{oxigeno} * (-0,01084) + \%masa_{nitrógeno} * (-0,0151)$$

En esta fórmula las constantes que acompañan a cada porcentaje de masa si son positivas son elementos que producen reacciones que aportan energía (exotérmicas) y si son negativas absorben energía (endotérmicas).

El flujo de combustible total se obtiene sumando los flujos del carbón y aceite. La carga nueva finalmente se obtiene del producto de la fórmula 7.7 con el flujo de combustible total. Lo descrito se observa mejor en la figura 39, en el **Anexo 15** en la parte de abajo se muestra la nueva propuesta junto con la estrategia de control actual, en donde se ve que las señales de aire estequiométrico y carga van de por medio con un selector que con una señal digital llama “Curva de calentamiento de temperatura de dilución primaria está ok”, de esta forma se sabe si el sistema ya entró a régimen adecuado para regular.

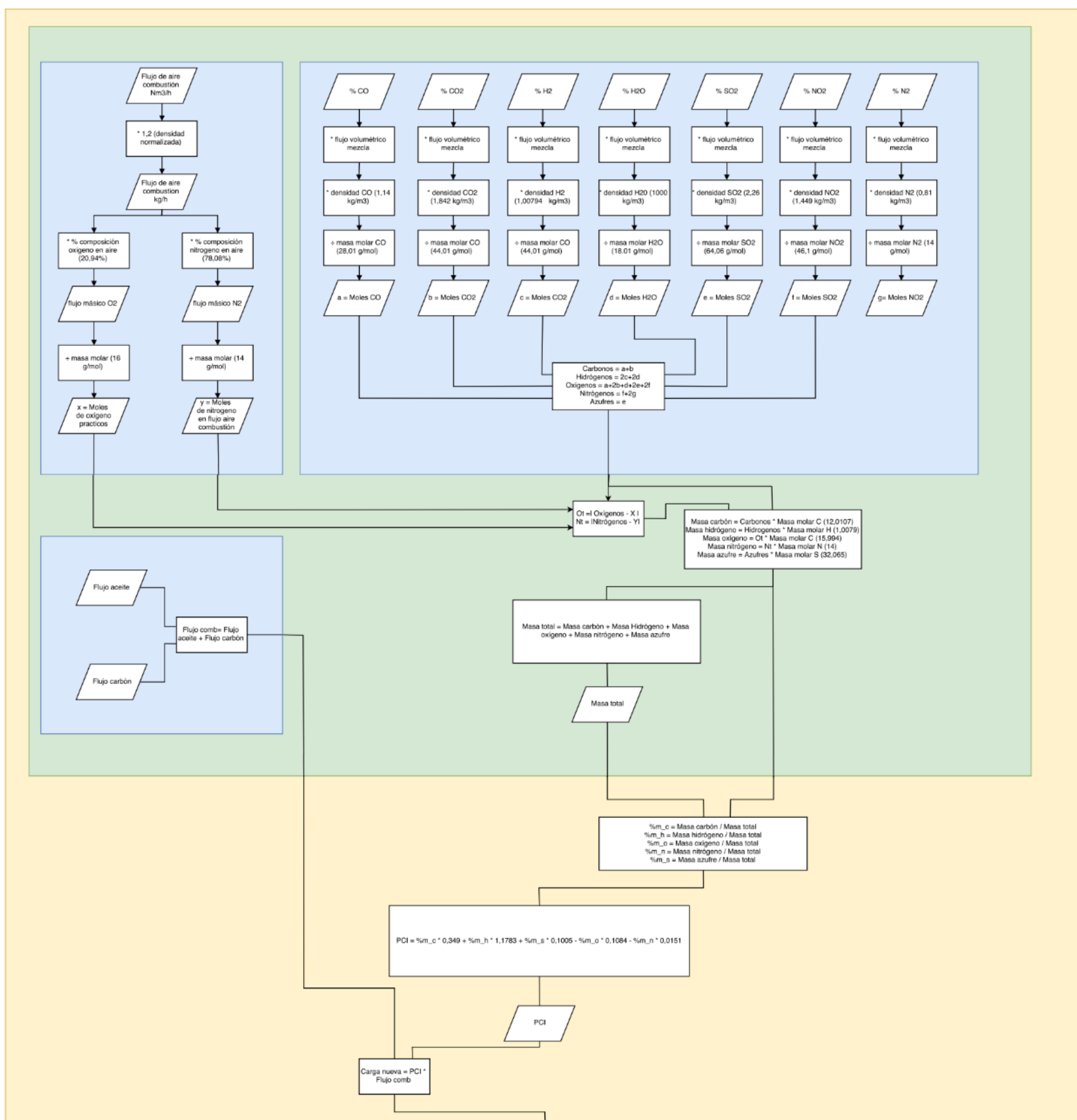


Figura 41. Diagrama de flujo rutina carga nueva

Fuente: draw.io

7.5 Estado actual versus propuesta

El proceso de una propuesta implicar llegar a un estado donde se quiere dejar claro las ventajas que contrae aplicarlo, estas están bajo 4 pilares.

7.5.1 Mantenibilidad

Para que el sistema tenga una alta mantenibilidad debe de estar en un controlador centralizado que puede ser reemplazable, donde se puede supervisar, controlar y adquirir datos del funcionamiento desde un dispositivo remoto en la red. El equipo funciona desde el 2004 y la vida útil de estos equipos se aproxima a los 20 años (según MTBFs de equipos similares marca Siemens), en el compartimiento donde se encuentra hay muchos rastros de aceite además de otros desechos por el proceso, esto en cierta forma puede aumentar las posibilidades que ocurra una falla. La modernización contraerá mayor procesamiento debido al uso de un CPU nuevo ya adquirido que permitirá tener la información respaldada, además de un mayor ajuste de los procesos utilizando las funciones de PID del sistema Foxboro (SCADA).

7.5.2 Flexibilidad

El hecho que se pase todo el sistema a uno en donde se pueda controlar les va a dar a los operadores la facilidad de controlador hasta el punto en donde se pueda apoyar este en sistemas más inteligentes y se pueda permitir la evolución del mismo, como ocurren con otros sistemas dentro de la planta. Idealmente el sistema debería funcionar al punto en donde el operador no intervenga mucho, pero como se ha explicado ellos necesitan controlar ciertas situaciones ya sean por asuntos de producción o mantenimiento siempre y cuando no se salgan de parámetros seguros. Esto ya será más posible porque el control estará adaptado y unido con el sistema Foxboro que ellos usan.

7.5.3 Eficiencia

La propuesta de rediseño ronda con base a mejorar la eficiencia de combustión aprovechando mejor el combustible usado para el proceso, donde se reduce considerablemente la emisión de gases tóxicos para el ser humano y el ambiente, además el hecho que se tenga monitoreado los gases de emisión abre la puerta a la mejora continua y apertura de nuevos tipos de proyectos que utilicen estas nuevas señales que se van a obtener con el analizador de gases.

7.5.4 Rentabilidad

Como el proyecto necesita una inversión para que la mejora sea posible, este tiene que reflejar que no solo será un gasto para la empresa, sino una mejora que les genere una ganancia económica, para que este sea más atractivo y sea posible su realización. Para esto se necesita definir bien cuál es el porcentaje de eficiencia que se le puede aumentar al sistema respecto al actual para hacerlo con un criterio válido, ya que cada porcentaje que se suba será más difícil que el anterior, y como este tipo de sistemas deberían de tener una alta eficiencia respecto a la combustión hay un gran potencial que se puede aprovechar y que no se está realizando, para esto se necesita aplicar un estudio de costos que implica a la empresa y compararlo con la situación actual del sistema.

Capítulo 8. Análisis financiero

8.1 Generalidades

Todos los proyectos en Holcim tienen que tener cierto tiempo en donde un proyecto de inversión empiece a tener rentabilidad para que sea tomado en cuenta, que es 18 meses, por lo tanto, el fin de este capítulo es aproximar la inversión y demostrar el tiempo en el que esta se puede recuperar.

8.2 Datos proporcionados

Para el cálculo de lo explicado anteriormente se necesitó conseguir ciertos datos primero proporcionado mayormente por los departamentos de Producción, como se mostró anteriormente en la tabla 1 (proporcionada por el Ingeniero Mario Castillo, del departamento de producción), la producción de puzolana es aproximadamente $35,8 \frac{ton}{hora}$, según datos de hasta agosto, se sabe que este molino únicamente funciona de viernes en la noche hasta lunes en la mañana, si no hubiera alguna situación especial, aproximadamente son 60 horas de producción a la semana, lo que significa que se produzcan por semana 2148 toneladas.

Como se explicó anteriormente, en el desarrollo del problema, los datos de producción el costo de tonelada de puzolana es de aproximadamente $22 \frac{\$}{ton}$ junto con los costos de despacho y demás son $50 \frac{\$}{ton}$.

El costo de un saco de cemento es de 10 \$ aproximado, que usualmente tienen un 40% de puzolana, costando esta 4 \$ los 20 kilos en un saco, que en la tonelada valdría 153\$.

Por lo tanto, la ganancia final, da un aproximado de $103 \frac{\$}{ton}$ y en el peor de los casos, si la máquina fallara un viernes en la noche entonces habría una pérdida por producción de 221 244\$. Todos estos datos fueron brindados por el departamento de producción.

Esto último recalca la importancia del proyecto en caso de una falla.

También se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 8. Precio carbón y aceite

Combustible	Toneladas al año [ton]	Costo por tonelada [\$/ton]
Carbón	1130	106,5
Aceite	3030	104

Fuente: Departamento de producción

Si se obtiene el costo de combustible total por año aproximadamente es de 435 465\$.

8.3 Pérdidas por eficiencia

Como se explicó la máquina en este momento cuenta con una eficiencia de combustión del 78%, si este dato se relaciona con el gasto anual de combustible por la siguiente ecuación:

$$\text{Combustible aprovechado} = \text{Combustible anual} * \text{eficiencia}_{\text{combustión}} \quad (8.1)$$

Que por una resta del combustible anual menos el aprovechado da una pérdida de combustible de aproximadamente $95\,802,3 \frac{\$}{\text{año}}$.

Dividiendo la pérdida por un 22% de pérdida por eficiencia se obtiene lo que vale cada porcentaje de pérdida en dólares que es $4354,59 \frac{\$}{\% \text{ perdido} * \text{año}}$, este es un aspecto muy importante que considerar para decir cuánto se va a aumentar la eficiencia teóricamente para que el proyecto sea rentable.

8.4 Cotización equipo

Para que el proyecto se realice se necesitan dos equipos extras que el sistema no cuenta:

8.4.1 Analizador de gases de combustión

Se realizó cotizaciones con dos empresas, (**apéndice 8** y **apéndice 9**) cada una tenía sus ventajas y desventajas, estas rondan entre el servicio técnico cerca, precio accesible, cantidad de compuestos que puede leer al mismo tiempo y marca reconocida, se tiene que considerar gastos de instalación y demás como un 30% del valor de su precio.

8.4.2 Medidor de flujo volumétrico

Debido a que se necesita medir el flujo dentro de la estufa luego que se agregó los combustibles ya combustionados, para esto se piensa utilizar un medidor ultrasónico que lo permita, que su precio se puede ver en el **apéndice 10**. Se le considera un 20% de su valor los gastos de envío, impuestos y demás.

Todo esto se puede ver resumido en la siguiente tabla.

Tabla 9. Resumen costo equipo

Equipo	Cotización [\$]	Porcentaje extra [\$]	Precio final [\$]
Analizador de gases	20 000	6 000	26 000
Medidor de flujo volumétrico	2 500	500	3 000
Instalación	2 000	0	2 000
		Total	31 000

Fuente: Cotizaciones

8.5 Cálculo de periodo recuperación

Como se mostró en la tabla la inversión en un principio respecto a lo explicado en el punto 8.4 es de aproximadamente 29 000 \$, en gastos por instalación se proyectan 2 000\$ en total. Tal y como muestra la siguiente figura tomada de una plantilla interna utilizada en Holcim.

Project costs	Total
Land & mineral reserves	0
Buildings and installations	0
Machines	-29
Furniture, vehicles and tools	0
Construction in progress	-2
Other long-term assets	0
Pre-project/ Project cost – capitalized	0
Total project costs - capitalized (excl. capitalized borrowing costs)	-31
Pre-project/ Project cost – expensed	0
TOTAL PROJECT COSTS (excl. capitalized borrowing costs)	-31

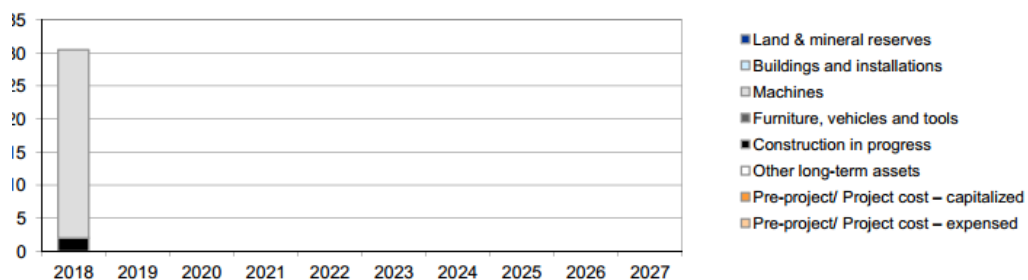


Figura 42. Costos del proyecto

Fuente: Plantilla costos Holcim, Microsoft Excel

Según (Council of Industrial Boiler Owners, 1997), (Oka, 2004) y (Spirax Sarco , 2017) la eficiencia de combustión debe de estar de un 80% a un 95% en la combustión, para poder tomar el porcentaje de eficiencia que cumple con los requisitos pedidos por Holcim para los proyectos se hizo un barrido de retorno de la inversión en función al porcentaje de eficiencia subido, que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10. ROI en función de la eficiencia subida

Porcentaje de eficiencia subido [%]	Ahorro por año [$\frac{\$}{\text{año}}$]	VAN [$\frac{\$}{\text{año}}$]	TIR [%]	ROI [Años]
1	4 354,59	-2000	8,3	n/a
2	8 709,18	22 000	16,28	4,2
3	13 063,77	43 000	22,03	2,7
4	17 418,36	66 000	27,39	1,9
5	21 772,95	84 000	31,47	1,5

Fuente: Plantilla costos Holcim, Microsoft Excel

El único caso que cumple los 18 meses de retorno es el que aumenta un porcentaje de eficiencia del 5%, que equivale a 21 772,95 \$ por año.

El estudio se realizó en este tiempo establecido y bajo una tasa de 8,81% utilizada en proyectos en Holcim, se muestra los siguientes datos.

Project valuation as per 30.06.2018 (hurdle rate = 8,80%)		2018
Present value of free cash flows (detailed planning period)	77	92,5%
Present value of free cash flows after detailed planning period (2028)	6	7,5%
Present value of salvage value	0	0,0%
Total project net present value as per 30.06.2018	84	100,0%
Internal rate of return (IRR) as per 30.06.2018	107,05%	(Re-investment at IRR)
Modified internal rate of return (MIRR) as per 30.06.2018	31,47%	(Re-investment at hurdle rate)
Dynamic payback as per 30.06.2018	1,5 years	(Discounted at hurdle rate)

Figura 43. Evaluación financiera del proyecto

Fuente: Plantilla costos Holcim, Microsoft Excel

Que da un valor actual neto (VAN) mayor a 0, con un valor de 84 000\$, indicando una alta rentabilidad.

La tasa interna de retorno (TIR) dio un 31,47%, que es una tasa de interés máxima a la que es posible endeudarse en el proyecto, con un amplio rango todavía para poder hacerle mejoras. Y finalmente el periodo de recuperación sería aproximado 18 meses o un año y medio, que entra dentro de los proyectos aceptados por la empresa.

Conclusiones

- a) Se logró caracterizar el sistema automático del generador de gases calientes con las últimas versiones del sistema actual, como etapa básica de la modernización y parametrización del molino de puzolana de la empresa Holcim Costa Rica.
- b) Se señalaron ciertas discrepancias encontradas en el sistema de control que reducían el rendimiento para que cuando se migre el sistema sean consideradas.
- c) Se desarrolló una estrategia del sistema de control mediante un diagrama normalizado para reemplazar los reguladores actuales a un autómata centralizado.
- d) Se propuso mejoras adecuadas en el sistema automático que se comprobaron en un aumento de eficiencia de combustión mediante cálculos.
- e) Se logró justificar la viabilidad económica del proyecto dentro del tiempo de retorno esperado por la empresa para la propuesta de rediseño del sistema automático del generador de gases calientes para que el departamento pueda encontrar los fondos adecuados dentro de la organización.

Recomendaciones

- a) La rutina de carga cuenta con un PID que usa como punto de ajuste y valor de forzado de salida la misma variable de proceso que está leyendo, por lo que no se le ve necesidad y puede tener errores dentro del control.
- b) La toma de combustión posteriormente se separa en varias tomas, entre ellas la de aire axial y radial, si estas se regularan mediante un control analógico de manera separada se podría obtener una llama más adecuada para la necesidad del generador de gases calientes.
- c) No hay retroalimentación respecto a la emisión de gases para controlar la cantidad de flujo de aire que se necesita en función del flujo de combustible, se consigue utilizando un analizador de gases de combustión junto con un medidor de flujo en el generador de gases calientes.
- d) La regulación PID se puede realizar más fina utilizando las funciones auto-tuning del sistema SCADA (Foxboro). Se recomienda tomar las señales de entrada de regulación en el PLC y enviarlas hacia el SCADA, para que este haga los cálculos adecuados y envíe como respuesta hacia el futuro PLC el valor regulado. Se propone realizar esto sin eliminar del todo la regulación en el autómatas, para que en el caso que fallara la red tener algún sistema de respaldo.
- e) La señal calculada del flujo de carbón no se envía directamente a un actuador sino al sistema Foxboro que el operador ingresa en otro lado hacia al dosificador, esto reduce la rapidez de respuesta del sistema y se arregla modificando el programa en el Foxboro con la flexibilidad del nuevo sistema de regulación.
- f) Se recomienda el seguimiento del proyecto para poder ofrecer más confiabilidad al sistema. Al tener respaldada la información funcionando en un controlador reemplazable, existe mayor flexibilidad, lo que permite hacerle mejoras dependiendo de las necesidades de los operadores junto con el departamento de producción, además de ser parametrizable para el uso en nuevo tipo de proyectos.

Bibliografía

- ABB. (2017). *ABB Group*. Obtenido de <http://new.abb.com/docs/librariesprovider78/capacitaciones/programa-entrenamiento-colombia/catalogos/soluciones-para-la-industria-de-cementos.pdf?sfvrsn=2>
- Basu, P. (2013). *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction*. San Diego, CA: EL SERVIER.
- Castolin. (2017). *www.castolin.com*. Obtenido de <https://www.castolin.com/sites/default/files/ckfinder/images/nodes/gi-VRM-shema.png>
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. México DF: Mc Graw Hill.
- Council of Industrial Boiler Owners. (1997). *ENERGY EFFICIENCY HANDBOOK*. Burke, VA: CIBO.
- Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control. (2011). Obtenido de http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf
- Dynamis. (2014). *Dynamis*. Obtenido de http://dynamis-la.com/uploads/files/downloads/D-FLAME_CAT_091013105229.pdf
- Elkjär, H. P., Smidth, F. L., & Cia, S. C. (1970). Automatización de fábricas de cemento: técnica del proceso y de la medición. *Materiales de Construcción*, 20, 138-139.
- Escuela de Ingeniería de Minas, Energías y Materiales de Oviedo. (2014). *Tipos de separadores de aire*. Obtenido de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion16.CEMENTOS.SeparadoresAire.TIPOS.pdf>

- Escuela de Ingeniería de Minas, Energías y Materiales de Oviedo. (2017). *Molinos verticales de rodillo*. Obtenido de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion14.CEMENTOS.MoliendaCrudo.MolinosRODILLOS.pdf>
- Eurotherm - Schneider. (s.f.). *Eurotherm*. Obtenido de http://www.eurotherm.com.au/index.php?route=module/downloads/get&download_id=2027
- Facultad de ingeniería UNMdP. (2015). Obtenido de <http://www3.fi.mdp.edu.ar/control4c7/APUNTES/Clase%207%20-%20PID.pdf>
- Fernández Díez, P. (2017). *Libros sobre Ingeniería Energética*. Obtenido de <http://files.pfernandezdiez.es/Termodinamica/PDFs/03Termod.pdf>
- Gebr-pfeiffer. (2017). *Gebr-pfeiffer*. Obtenido de <http://www.gebr-pfeiffer.com/fileadmin/images/contentimages/Produkte/Illustration/GP-MRD-2.jpg>
- Gouttenoire, J., & Batalla, J. M. (1970). Automatización en fábricas de cemento-una reciente realización: ALTKIRCH. *Materiales de Construcción*, 20, 138-139.
- Hewlett. (1998). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete* (4th ed.). Elsevier Ltd.
- Holcim (Costa Rica) S.A. (31 de Diciembre de 2016). *www.holcim.cr*. Obtenido de Memoria Anual 2016: http://www.holcimnews.cr/docs/Memoria_Anual_Holcim_2016.pdf
- Holderbank. (2005). *Cement Seminar - Process Technology - Roller Press*. Obtenido de <http://222.255.19.250/picture/PRJ-MEC/VAN/Holcim/Roller%20Press.pdf>
- InfoPLC. (2017). *InfoPLC*. Obtenido de http://www.infoplcn.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introduccion-a-las-redes-de-comunicacion-industrial.pdf

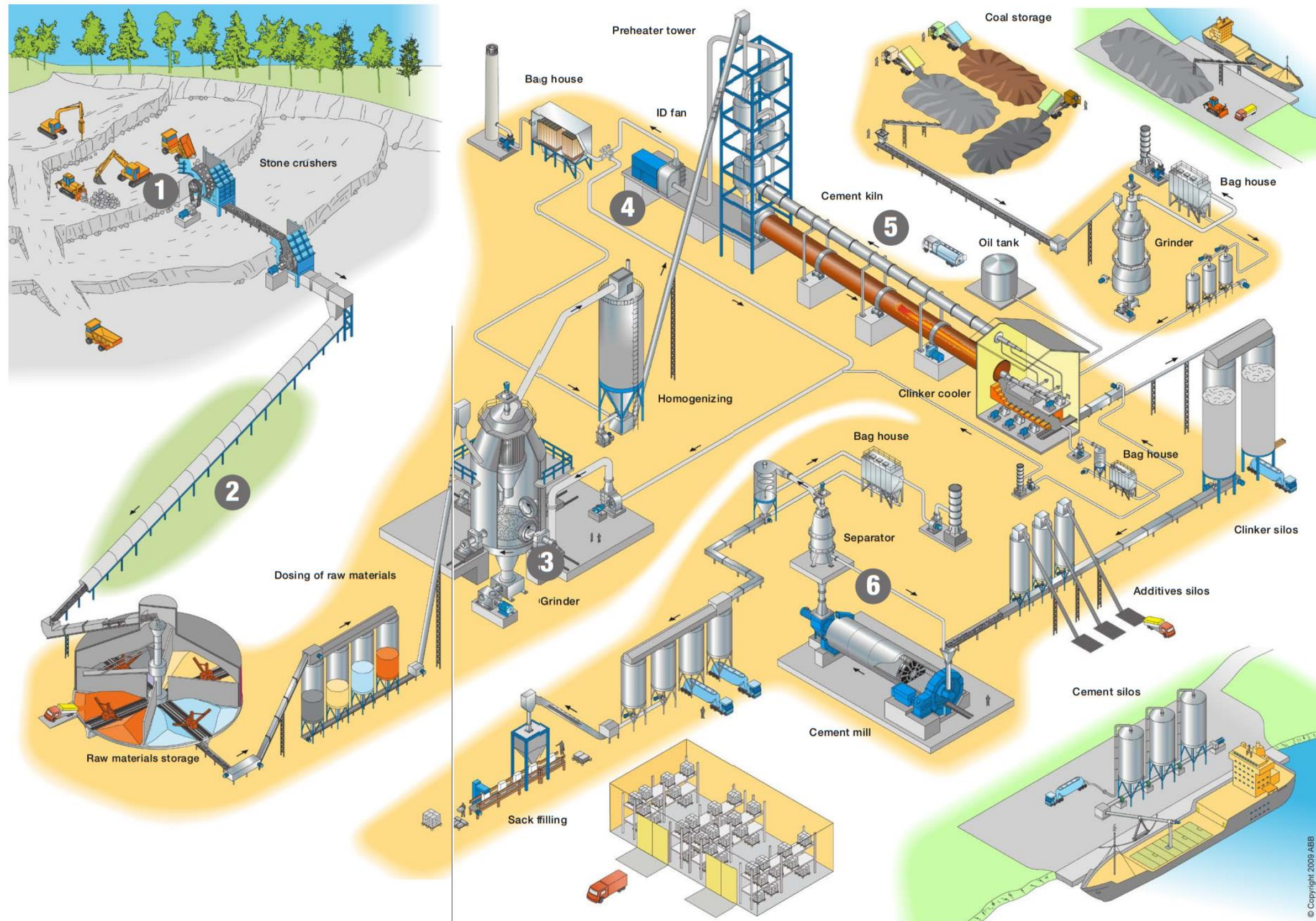
- Institute for Industrial Productivity. (2017). *Industrial Efficiency Technology Database*.
Obtenido de <http://ietd.iipnetwork.org/sites/ietp/files/high-pressure-roll-press.png>
- Instrumentation Toolbox. (2017). *Instrumentation Toolbox*. Obtenido de <http://www.instrumentationtoolbox.com/#axzz4vi7BPakO>
- Micro. (s.f.). *Micro Automation*. Obtenido de <http://www.microautomacion.com/capacitacion/Manual061ControladorLgicoProgramablePLC.pdf>
- Oka, S. (2004). *Fluidized bed combustion*. Ottawa, Canada: Marcel Dekker, Inc.
- Pillard. (22 de Octubre de 2003). Operation and maintenance documentation - Pozzolan grinding and drying. Marseille, Francia.
- Spirax Sarco . (2017). *Boiler efficiency and combustion*. Spirax Sarco Limited.
- Steven H. Kosmatka, B. K. (2004). *Diseño y Control de mezclas de concreto*. Skokie, Illinois, Estados Unidos: Portland Cement Association. Recuperado el 4 de Junio de 2017
- Testo Argentina. (2010). *Testo*. Obtenido de <http://www.academiatesto.com.ar/cms/aire-de-combustion-coeficiente-de-exceso-de-aire>
- TSI Incorporated. (2004). *Precision Measurement Instruments*. Obtenido de http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Handbooks/C-A-basic-2980175.pdf
- Universidad Tecnológica Nacional de Argentina. (s.f.). *U.T.N. - Argentina*. Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/01-poder_calorifico.pdf
- Valvias. (2013). *Valvias*. Obtenido de <http://www.valvias.com/prontuario-propiedades-materiales-densidad-gases.php>

Yugsi, R. (2009). *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9276/6/LENGUAJES%20DE%20PROGRAMACION%20DE%20PLC.doc>

Anexos

Anexo 1. Producción cemento

Fuente: (ABB, 2017)



Anexo 2. Funcionamiento molino puzolana

Fuente: Holcim Costa Rica

<div>Rev 03 dated 20/09/05</div> <div>FUNCTIONAL ANALYSIS HFO/PC VERTICAL HGG</div>	<div>02.4.4.0863.00</div> <div>2/9</div>
<p><u>1 - FAN START UP</u></p> <p>If fans are in manual mode, it is the operator duty to start the 3 fans, combustion, primary dilution and secondary dilution with the local push button (or from CCR).</p> <p>If fans are in automatic mode, then they will start automatically when the operator will push the oil start push button. First the combustion air fan will start, then the primary dilution air fan will follow and last the secondary dilution air fan will start.</p> <p><u>2 - HGG START UP</u></p> <p>The HGG start only on heavy oil firing.</p> <p><u>2.1 - Heavy oil start up authorisation</u></p> <p>The signal "Heavy oil ready to start" is given if conditions below are full fed :</p> <ul style="list-style-type: none"> • No HGG safeties • No HGG alarms • Atomising air pressure is satisfied • Instrument air pressure is satisfied • heavy oil pressure is satisfied • heavy oil temperature is satisfied • The oil gun is in back position • No oil flow measure failure • No heavy oil and compressed air valve discrepancy • Purging valve is closed • Upstream heavy oil shut off valve closed • Downstream heavy oil shut off valve closed • heavy oil return valve open • heavy oil flow control valve is at the minimum position • The axial flap valve is in oil position or the coal is in operation • The radial flap valve is in oil position or the coal is in operation • The secondary air flap valve is in oil position or the coal is in operation • The coal cooling valve is open or coal blower is in operation <p>Then, the heavy oil start up authorisation is given and a lamp signal is activated.</p> <p><u>2.2 - HEAVY OIL start up</u></p> <p>When the heavy oil authorisation is given, the operator press the HEAVY OIL start up push button, then if the furnace temperature is lower than 800°C, a air flushing sequence is activated</p>	
	<div>K33-HA1.PS8</div> <div>K33-HA1.PS4</div> <div>K33-HA1.PS5</div> <div>K33-HA1.TSC</div> <div>K33-HA1.ZXC</div> <div>K33-HA1.FT1</div> <div>K33-HA1.ZY6</div> <div>K33-HA1.ZY5</div> <div>K33-HA1.ZY4</div> <div>K33-HA1.ZY3</div> <div>K33-HA1.ZY2</div> <div>K33-HA1.ZYF</div> <div>From client</div> <div>K33-HA1.ZYE</div> <div>From client</div> <div>K33-HA1.ZYG</div> <div>From client</div> <div>K33-HA1.ZXD</div> <div>From client</div>
	<div>PILLAR</div>

<p>Rev 03 dated 20/09/05</p> <p>FUNCTIONAL ANALYSIS HFO/PC VERTICAL HGG</p>	<p>02.4.4.0863.00</p> <p>3/9</p>
<p><u>2.2.1 - Chamber air flushing sequence</u></p> <p>Flushing consists in forced ventilation with combustion air fan to prevent any explosion risks due to gas storage inside the combustion chamber.</p> <p>When a air flushing sequence is activated :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Air flow control valve is forced to its maximum opening • The flushing flow level is checked <p>After 90 seconds</p> <ul style="list-style-type: none"> • Air flow control valve is set back to its track value • The start up combustion air flow level is checked <p>If the furnace temperature is higher than 800°C, no flushing sequence is required and then :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oil gun goes into is firing position. • Then the ignitor start <p><u>2.2.2 - Ignitor Starting sequence</u></p> <p>Starting conditions</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ignition gas pressure is satisfied • Process safeties is satisfied • Combustion air fan in operation • Emergency stop not actuated <p>By pressing the manual start push button or in automatic mode :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Time T0 : <ul style="list-style-type: none"> Ignition transformer is energised Ignition gas valves open • Time T0 + 5" : <ul style="list-style-type: none"> Ignition transformer is des-energised Torch flame is checked by flame ionisation <p>Then ignitor is 'ON' and a lamp signal is activated.</p> <p><u>2.2.3 - Heavy oil starting sequence</u></p> <p>After the ignitor is ON :</p> <ul style="list-style-type: none"> • heavy oil shut off valves opens. • heavy oil return valve close. • The main flame detector check the flame after 20 seconds. • Ignitor stop 	

FCV HAB03
K33-HA1.PTA

FCV HAB03
K33-HA1.PTA

K33-HA1.ZYC

K33-HA1.PSA
From client
From client

K33-HA1.N1
K33-HA1.VA& K33-HA1.VB

K33-HA1.NS3

K33-HA1.V4& K33-HA1.V5

K33-HA1.V3
K33-HA1.NS1

PILLAR

<p style="text-align: center;">FUNCTIONAL ANALYSIS HFO/PC VERTICAL HGG</p> <p>Rev 03 dated 20/09/05</p>	<p style="text-align: center;">02.4.4.0863.00</p> <p style="text-align: center;">4/9</p>
<p><u>2.2.4 - Ignitor shut down procedure</u></p> <p>The ignitor stop when the operator press the stop push button or in automatic mode, then :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ignition valves close K33-HA1.VA & K33-HA1.VB • The ionisation detector is ignored K33-HA1.NS3 <p>The heavy oil firing is in track operation on heavy oil firing at 280kg/hr (rev 03).</p> <p>The chamber temperature limit condition is given by temperature sensors K33-HA1.TT3 & K33-HA1.TT4.</p> <p><u>2.2.5 - The furnace temperature is lower than 400 °C (rev 03)</u></p> <p>The HGG load is released to the customer request only between 20 to 40%.</p> <p>It is the operator duty to increase this load from 20% step by step in order to allow the primary dilution temperature to increase "slowly".</p> <p>Our local controller adjusts the primary dilution fan to get a chamber temperature rate of 500°C/hour.</p> <p>The secondary dilution fan is automatically set at 100% in order to maintain the outlet gas temperature at its lowest possible value.</p> <p><u>2.2.6 - The furnace temperature is lower than 800 °C (rev 03)</u></p> <p>The HGG load is released to the customer request only between 20 to 40%.</p> <p>It is the operator duty to increase this load from 20% step by step in order to allow the primary dilution temperature to increase "slowly".</p> <p>Our local controller adjusts the primary dilution fan to get a chamber temperature rate of 1000°C/hour.</p> <p>The secondary dilution fan is automatically set at 100% in order to maintain the outlet gas temperature at its lowest possible value.</p> <p><u>2.2.7 - The chamber temperature is higher than 800 °C (rev 03)</u></p> <p>The HGG load is released from 0 to 100% and the oil flow is adjusted according to the load set point.</p> <p>Also the secondary dilution fan is released as per 2.3.2 below.</p> <p><u>Note (rev 03) :</u></p> <p>The rate values of 500 and 1000 °C/hour have been set to such high values due to the fact that the design of the mill process can not accept a temperature increase time higher than 1 hour.</p> <p>However, according to our recommended refractory material (item 01 on our drawing INC1 M15 HG206), we confirm that these values should be set around 100 & 200 °C/hour as mentioned on in original FUNCTIONAL ANALYSIS.</p> <p style="text-align: right;">PILLAR</p>	

2.3 - Dilution management

2.3.1 - Primary dilution

The primary dilution loop adjusts the primary dilution temperature (1050 °C) (rev 03) through the temperature transmitter K33-HA1.TT3 and the primary dilution fan control [0-100 %].

2.3.2 - Secondary dilution

The secondary dilution loop adjusts the secondary dilution temperature (750 °C) (rev 03) through the temperature transmitter K33-HA1.TT2 and the primary dilution fan control [0-100 %].

2.4 - Coal start up

2.4.1 - Start up authorisation

The signal "Coal ready to start" is given if conditions below are full fed :

- Heavy oil is in operation (not possible to start without oil firing) K33-HA1.ZYC
- The HGG temperature is higher than 800°C K33-HA1.TT3 & K33-HA1.TT4
- No HGG alarms see part C.5
- No coal alarms

Then, the coal start up authorisation is given and a lamp signal is activated.

2.4.2 - Coal start up

When the coal authorisation is given the operator press the coal start up push button.

Then :

- Coal blower start up signal is given to the customer
- When the blower feed back signal is received (within 10 seconds) From client
- Coal dosing system start signal is sent to the customer
- When the blower feed back signal is received (within 10 seconds) From client
- The coal cooling valve close K33-HA1.VD
- The axial flap valve goes in coal position K33-HA1.VF
- The radial flap valve goes in coal position K33-HA1.VE
- The secondary air flap valve goes in coal position K33-HA1.YG
- The main flame detector check the flame after 10 seconds. K33-HA1.NS2 or K33-HA1.NS1

The coal is then in operation, our controller give to the dosing system the coal set point (and we receive the actual coal flow) according to the global HGG load from the customer.

The heavy oil set point is set to its minimum value at 200kg/hr (rev 03).

PILLAR

<p>Rev 03 dated 20/09/05</p> <p>FUNCTIONAL ANALYSIS HFO/PC VERTICAL HGG</p>	<p>02.4.4.0863.00</p> <p>6/9</p>
<p><u>3 - HEAVY OIL SHUT DOWN</u></p> <p><u>3.1 - HEAVY OIL normal stop</u></p> <p>If the operator press the heavy oil stop push button :</p> <ul style="list-style-type: none"> • The return valve opens. K33-HA1.V3 • Shut off valves close. K33-HA1.V4& K33-HA1.V5 • The purging sequence is automatically activated. <p><u>3.1.1 - Purging sequence start</u></p> <p>The purging sequence is allowed if :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Purging valve is closed K33-HA1.ZY6 • Atomising air pressure satisfied K33-HA1.PS8 • heavy oil shut off valves close K33-HA1.ZY4 & K33-HA1.ZY5 • Oil gun at its firing position K33-HA1.ZXC • Process safety is satisfied From client • Emergency stop not actuated. From panel <p>Then by pressing the manual start push button or in automatic mode :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ignitor start as describe above • The purging valve opens K33-HA1.V6 • The atomising valve opens K33-HA1.V7 • The atomising compressed air valve is set to its track purging value K33-HA1.V8 <p><u>3.1.2 - Purging sequence stop</u></p> <p>The purging sequence stop when :</p> <ul style="list-style-type: none"> • The adjusted time is completed (2 minutes). • The heavy oil start push button in pressed. <p>Then</p> <ul style="list-style-type: none"> • The atomising compressed air valve is set back to its track stop value K33-HA1.V8 • The purging valve close K33-HA1.V6 • The atomising valve is kept opens K33-HA1.V7 • The ignitor stop as described above. <p>And then the oil gun goes into its back position. K33-HA1.ZYC</p> <p>The shut off atomisation valve is kept open in order to keep clean the oil nozzle.</p>	
PILLAR	

FUNCTIONAL ANALYSIS HFO/PC VERTICAL HGG		02.4.4.0863.00
Rev 03 dated 20/09/05		7/9
<p><u>4 - COAL STOP</u></p> <p>If the operator press the coal stop push button :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coal dosing system start signal is cut. • Coal blower start up signal is cut • The coal cooling valve open • The axial flap valve goes in oil position • The radial flap valve goes in oil position • The secondary air flap valve goes in oil position 		
		K33-HA1.VD
		K33-HA1.VF
		K33-HA1.VE
		K33-HA1.YG
<p><u>6 - HGG NORMAL STOP</u></p> <p>When the no fuel are in operation, the following HGG shut down procedure is activated :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Primary and secondary dilution air fans stop. • The combustion air fan is set to its HGG stop track values and stop after 2 hours if the furnace temperature is below 300°C • The vent valve is kept closed. 		
<p><u>7 - VENT VALVE</u></p> <p>The normal position of this valve is closed.</p> <p>It is possible to open it with the key switch on the panel.</p> <p>Also this vent valve open automatically when :</p> <ul style="list-style-type: none"> • The HGG stop by 'Very high chamber pressure' failure. • Combustion air fan stop and the furnace temperature is higher than 600°C. • Emergency stop 		
<p><u>8 - IGNITOR SAFETIES</u></p>		
<p><u>8.1 - Safties</u></p>		
• Process safety not satisfied		From client
• Emergency stop		
• Ignition flame not detected		K33-HA1.NS3
<p><u>8.2 - Alarm</u></p>		
• Ignition gas pressure low		K33-HA1.PSA
<p><u>9 - HEAVY OIL SAFETIES</u></p>		
<p><u>9.1 - Shut down by safeties with purging</u></p>		
<p>If one of the below safeties appears, the heavy oil burner stop as a normal stop.</p>		
• Instrument air pressure too low		K33-HA1.PS4
• Purging valve discrepancy.		K33-HA1.ZY6
• Return heavy oil valve discrepancy.		K33-HA1.ZY3
• Heavy Oil pressure too low.		K33-HA1.PS5
• Combustion air fan shut down.		From client
• Flame detection lost		K33-HA1.NS1
PILLAR		

FUNCTIONAL ANALYSIS HFO/PC VERTICAL HGG		02.4.4.0863.00
Rev 03 dated 20/09/05		8/9
<p><u>9.2 - Shut down by safeties without purging</u></p> <p>If one of the below safeties appears, the heavy oil burner stop without purging, and the oil gun is kept in front position and the atomising air valve close.</p> <ul style="list-style-type: none"> heavy oil shut off valve discrepancy. K33-HA1.PS8 heavy oil gun position discrepancy. K33-HA1.PS9 Atomising air pressure too low From client Combustion air failure From panel Process safeties. Emergency stop. <p>To be able to restart, the operator will have to press the 'oil gun back position' push button when all failures will be acknowledged.</p> <p><u>9.3 - Heavy oil alarm</u></p> <ul style="list-style-type: none"> heavy oil temperature too low. K33-HA1.TSC Axial flap valve discrepancy. K33-HA1.ZXF/ZYF Radial flap valve discrepancy. K33-HA1.ZXE/ZYE Secondary flap valve discrepancy. K33-HA1.ZXG/ZYG Coal cooling valve closed without coal firing closed. K33-HA1.ZXD/ZYD <p><u>10 - PURGING SEQUENCE SAFETIES</u></p> <p><u>10.1 - Safeties</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Process safeties not satisfied. From client Oil gun position not in front position heavy oil shut off valve discrepancy. Emergency stop. Atomising air pressure is not satisfied K33-HA1.PS8 Combustion air is off K33-HA1.PS9 Ignitor shut down and furnace temperature < 650°C K33-HA1.TE1& K33-HA1.TE5 <p><u>10.2 - Safety shut down</u></p> <p>If purging sequence is stopped by safeties, then</p> <ul style="list-style-type: none"> The atomising compressed air valve is set back to its track stop value K33-HA1.V8 The purging valve close K33-HA1.V6 The atomising valve close K33-HA1.V7 The ignitor stop. <p><u>11 - COAL SAFETIES</u></p> <p><u>11.1 - safeties</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Combustion air fan shut down. From client Flame detection lost K33-HA1.NS2& K33-HA1.NS1 Process safeties. From client Emergency stop. From panel HGG safeties See part C.4 Chamber temperature below 700°C K33-HA1.TE3or K33-HA1.TE4 Flow measurement failure 		
PILLAR		

FUNCTIONAL ANALYSIS HFO/PC VERTICAL HGG		02.4.4.0863.00
Rev 03 dated 20/09/05		9/9
<u>11.2 - Alarm</u>		
• Axial flap valve discrepancy.		K33-HA1.ZYF
• Radial flap valve discrepancy.		K33-HA1.ZYE
• Secondary flap valve discrepancy.		K33-HA1.ZYG
• Coal cooling valve open		K33-HA1.ZYD
<u>11 - HGG SAFETIES</u>		
<u>11.1 - Group (1) - Normal stop</u>		
• Primary dilution air fan stop.		From client
• Secondary dilution air fan stop.		From client
• Vent valve discrepancy		K33-HA1.ZY1/ZX1
• Combustion air measurement failure	K33-HA1.PTA, K33-HA1.PT6& K33-HA1.TT8	
• Hardwired safety link		
<u>11.2 - Group (2) - Normal stop without oil purging</u>		
• The primary dilution temperature very high (> 1250°C).	K33-HA1.TT3or K33-HA1.TT4	
• The secondary dilution temperature very high (> 950°C).	K33-HA1.TT2	
• Furnace temperature very high (> 1350°C).	K33-HA1.TT1or K33-HA1.TT5	
• Process safety		From client
• Combustion air fan not in operation		From client
• Combustion air pressure		K33-HA1.PS9
<u>11.3 - Group (3) - Normal with opening of vent flap valve</u>		
• Combustion pressure chamber very high (> -05 mmH2O).	K33-HA1.PT1or K33-HA1.PT2	
• Draft fan stop (rev 02)		K33-VE2
<u>11.4 - Group (4) - Complete shut down of all equipment</u>		
• Emergency stop		From panel
• PLC watch dog		
<u>11.5 - HGG alarms</u>		
• Combustion pressure chamber high (> -20 mmH2O).	K33-HA1.PT1or K33-HA1.PT2	
• Primary dilution temperature high (> 1200°C).	K33-HA1.TT3or K33-HA1.TT4	
• Secondary dilution temperature high (> 900°C).	K33-HA1.TT2	
• Furnace temperature high (> 1300°C).	K33-HA1.TT1or K33-HA1.TT5	
PILLAR		

Anexo 3. Controladores lógicos programables

La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos de los Estados Unidos define que “un PLC – Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos”.

Tipos

Según (Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, 2011) existen

- a. Compactos
- b. Modular
- c. Tipo montaje en rack
- d. PLC con panel Operador y Controlador Lógico Programable

Especificaciones

CPU

La parte principal es la denominada “unidad central de procesamiento” o CPU que contiene la parte de procesamiento del controlador y está basada en un microprocesador que permite utilizar aritmética y operaciones lógicas para realizar diferentes funciones. Además, la CPU, testea también frecuentemente el PLC para lograr encontrar errores en su debido tiempo.

Módulos E/S

Finalmente, los módulos de E/S, son aquellos módulos de señal (SM) que coordinan la entrada y salida de las señales, con aquellas internas del PLC. Estas señales pueden ser digitales (DI, DO) y analógicas (AI, AO), y provienen o van a dispositivos

como sensores, interruptores, actuadores, etc. Los SMs analógicos utilizan en general un voltaje en DC y una corriente directa.

Módulos comunicación

Son módulos que en muchos casos ya vienen incluidos dentro de la parte del CPU, esto porque no solo realizan la función de comunicarse entre PLCs o dentro de una red industrial, sino para la carga y descarga del programa que incluye la configuración. Usualmente hay diferentes tipos de conexiones que van de la mano del método que se use para poderse comunicar (Protocolos de comunicación) en muchos casos los equipos pueden hablar varios protocolos.

- Protocolos de comunicación

Básicamente son reglas que se definen para la comunicación, intercambio y transferencia de datos entre dispositivos que están dentro de una red, se podría comparar con el idioma con el que los dispositivos se comunican. Las señales que envían los sensores y actuadores viajan a través de un cable de dos hilos, si hay una cantidad considerable de dispositivos dentro de la red esta tendría muchos cables que llegarían a un controlador, volviéndose tedioso y caro; de ahí se obtiene el concepto de bus de campo, donde se utiliza solamente un cable en común para todos los dispositivos, siempre y cuando la topología y el tipo de red lo permita. Esto se puede observar de mejor manera en la siguiente imagen.

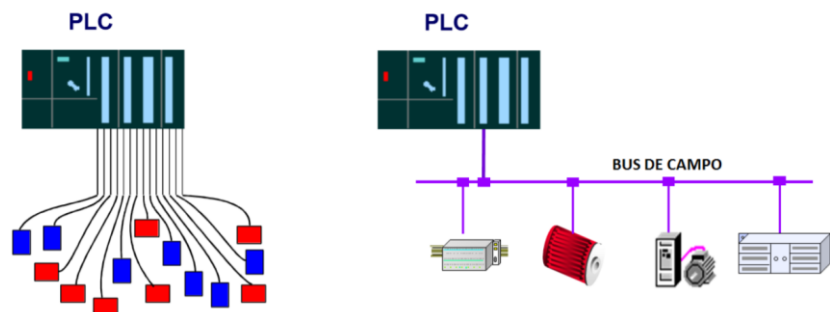


Figura 44. Sistema de cableado convencional versus Bus de Campo

Fuente: (InfoPLC, 2017)

Los protocolos de comunicación varían sus características por las aplicaciones y necesidades que se tengan, actualmente hay una gran gama dentro del mercado, se muestran algunos de los más importantes se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11. Protocolos de campo en la industria

Bus de campo	Topología	Medio físico	Velocidad	Distancia segmento	Dispositivos por nodo
PROFIBUS	Bus lineal	Par trenzado	Hasta 12Mbps	Hasta 9'6 km y 90 km	125
	Anillo	apantallado			
	Estrella árbol	Fibra óptica			
WORLDFIP	Bus lineal	Par trenzado apantallado Fibra óptica	Hasta 1 Mbps y 5Mbps	Hasta 5 km y 20 km	64
MODBUS	Bus lineal	Par trenzado	Hasta 19'2Kbps	1 km	248
DEVICENET	Bus lineal	Par trenzado	Hasta 500 Kbps	Hasta 500 m	64
CONTROLNET	Bus lineal	Coaxial Fibra óptica	5 Mbps	Hasta 3.000m	48
	Árbol				
	Estrella				
AS-i	Bus lineal Árbol - Estrella	Cable 2 hilos	167 kbps	Hasta 200 m	32-62
ARCNET	Bus Estrella	Par trenzado Fibra óptica Coaxial	2.5 Mbps	122 m	255

Fuente: (InfoPLC, 2017)

La topología indica la forma en que se conectan los dispositivos, el bus lineal es tal y como se muestra en la figura 11, el anillo un lazo cerrado.

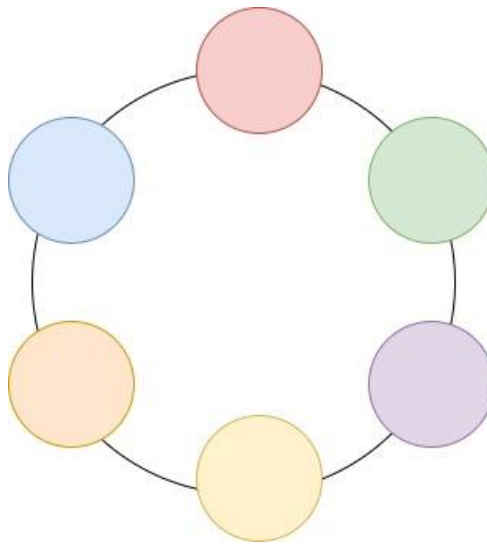


Figura 45. Topología anillo

Fuente: Draw.io

La estrella todos hacia un dispositivo.

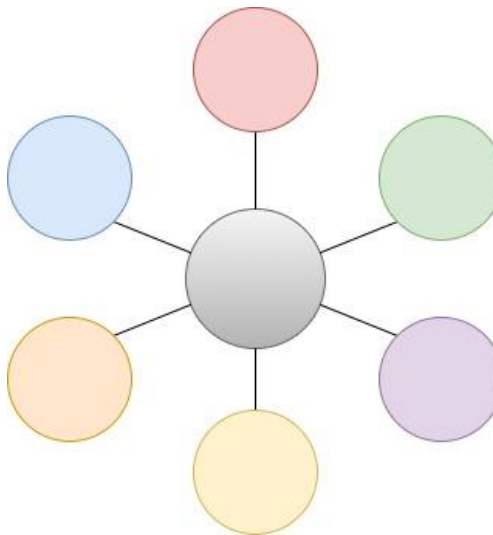


Figura 46. Topología Estrella

Fuente: Draw.io

Y el árbol es una serie de redes en estrella sin un dispositivo central, sino que va de manera decreciente.

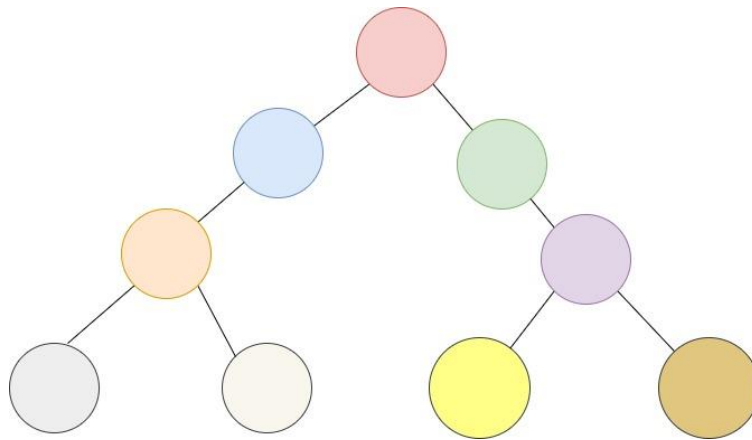


Figura 47. Topología árbol

Fuente: Draw.io

En la tabla se muestran además diferentes medios físicos por donde se pueden conectar, las velocidades de transmisión a la que pueden llegar siempre y cuando no exceda la distancia máxima indicada. También se destaca la cantidad de dispositivos que se pueden unir, todo estos son aspectos por considerar cuando se elige un protocolo específico.

Programación

Software

Los controladores necesitan recibir las instrucciones definidas por un usuario para poder saber lo que tienen que hacer con la información recibida, esta información puede ser de varios tipos:

- Entradas:

Pueden ser señales digitales booleanas (bits) que llegan en grupos de 8 (bytes), se numeran de manera creciente y dependiendo de la posición del módulo en el PLC, el número cero se cuenta por lo que la numeración va de cero a siete. Dependiendo del programa para llamar una entrada usualmente se usa el “E” (de entrada) o el “I” (de input). Entonces para llamar las entradas

de primer byte de un módulo con dirección 1 se indica como I0.0 hasta la I0.7 o E0.0 hasta la E0.7

Cuando se refiere a entradas analógicas ya no se puede hablar de dos estados, encendido= 1 o apagado= 0, como lo son las booleanas, sino que tiene que ser un valor real, que otorga un valor numérico leído desde una variable física por medio de un sensor. Por ejemplo, la temperatura, que se obtiene del sensor, puede estar en 20 °C o 100 °K, por lo que en estos casos usualmente se utiliza 16 bits, 2 bytes o también se llama 1 palabra. Dependiendo de la precisión del módulo de entradas analógicas y del sensor se puede utilizar más de 1 palabra. Para llamarlo se suele usar la letra W (Word), entonces para llamar una señal analógica direccionado con el byte 10 se hace como IW10.0

- Salidas:

Siguen la misma lógica que se sigue para las salidas, la diferencia radica en la letra inicial que se usa al principio, si se quiere un módulo de salidas digitales con el segundo byte, es S2.0 hasta S2.7 O Q2.0 hasta Q2.7

De la misma forma para entradas analógicas QW10.0

- Marcas:

Espacios de memoria no físicos, que pueden provenir de resultados dentro del programa o de asignaciones directas por el usuario que en ciertos casos pueden ser utilizados como entradas y salidas. La asignación se realiza con la letra M, pueden ser datos booleanos, reales o enteros, ejemplo la marca M0.1 indica del byte 0 el bit 1, la marca MW10.0 indica la marca de palabra en el byte 10.

- Módulos de programa:

Espacios lógicos de memoria en donde el usuario puede definir o guardar datos, arreglos, funciones, entre otros. Se tienen cuatro tipos, DB son

módulos que se usan como bases de datos, FB son módulos que contienen funciones y OB en donde se tienen las instrucciones a seguir.

- Segmento:
Línea de programación dentro de un módulo
- Constantes:
Valores definidos de manera predeterminada para el uso interno del programa, ya sea para cálculos matemáticos o lógicos.

Norma IEC 1131-3

Según (Yugsi, 2009) existen tres tipos de lenguajes de programación básicos:

- a. Lenguaje de contactos o Ladder
- b. Lenguaje Booleano (Lista de instrucciones)
- c. Diagrama de funciones

El estándar IEC 1131 para controladores programables consiste en cinco partes, una de las cuales hace referencia a los lenguajes de programación y es referida como la IEC 1131-3.

El estándar IEC 1131-3 define dos lenguajes gráficos y dos lenguajes basados en texto, para la programación de PLCs. Los lenguajes gráficos utilizan símbolos para programar las instrucciones de control, mientras los lenguajes basados en texto usan cadenas de caracteres para programar las instrucciones.

- a. Lenguajes Gráficos
 - Diagrama Ladder (LD)
 - Diagrama de Bloques de Funciones (FBD)
- b. Lenguajes Textuales
 - Lista de Instrucciones (IL)
 - Texto Estructurado (ST)

Adicionalmente, el estándar IEC 1131-3 incluye una forma de programación orientada a objetos llamada Sequential Function Chart (SFC). SFC es a menudo categorizado como un lenguaje IEC 1131-3, pero éste es realmente una estructura

organizacional que coordina los cuatro lenguajes estándares de programación (LD, FBD, IL y ST). La estructura del SFC tuvo sus raíces en el primer estándar francés de Grafcet (IEC 848).

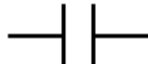
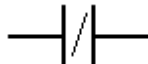




Tipos de lenguajes

- Escalera:

Es el lenguaje de programación clásico dentro de los programas, esto debido a que está basado en los esquemas de control eléctrico convencional, los símbolos que utiliza están normalizados según la norma NEMA.

Se puede observar en la siguiente tabla los principales símbolos utilizados en este lenguaje.

Tabla 12. Símbolos NEMA para lenguaje escalera

Símbolo	Nombre	Descripción
	Contacto NA	La activación se realiza con un uno lógico en el elemento, siendo esto, una entrada, se usa como bit del sistema en variable interna.
	Contacto NC	Al contrario del NA este se activa en el caso que haya un cero lógico.
	Bobina NA	Se activa cuando los elementos en serie a su izquierda dan una lógica de encendido. La activación indica una salida activa.
	Bobina NC	De manera homóloga el contacto cerrado con el abierto así funciona la bobina cerrada respecto al abierto.
	Bobina SET	Sirve para memorizar el estado de una bobina, una vez activa no se desactiva al menos que se utilice su homólogo Bobina de reseteo.
	Bobina SET	Como se dijo sirve, para resetear la bobina del set.

Fuente: (Yugsi, 2009)

Una vez conocido los símbolos que se necesitan para realizar el programa, se necesita conocer el esquema lógico, en donde las entradas se sitúan a la izquierda y las salidas a la derecha, en medio el proceso lógico/matemático que se necesite, tal y como se muestra en la siguiente figura.

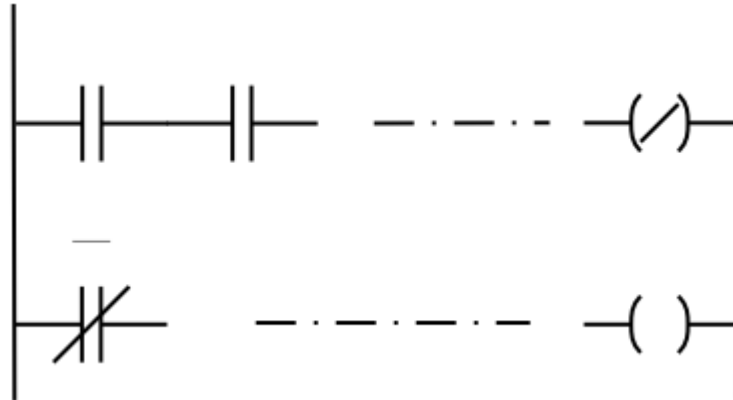


Figura 48. Esquema programación escalera

Fuente: (Yugsi, 2009)

- Lista de instrucciones (AWL):

Usa la sintaxis del Álgebra de Boole para ingresar y explicar la lógica de control. Consiste en elaborar una lista de instrucciones o nemónicos, haciendo uso de operadores Booleanos (AND, OR, NOT, etc.), esto para realizar el diagrama de control. Un ejemplo de esta es el siguiente:

A	I	1.6
A	I	2.5
O	I	2.1
=	Q	4.0

En donde se aplica la compuerta AND al valor de entrada I1.6 con el valor I2.5, de este se aplica la compuerta OR con el valor I2.1 y se le asigna a la salida Q4.0

- Diagrama de funciones (FBD):

Este lenguaje permite programar elementos (bloque de funciones del PLC) para que aparezcan interconectados al igual que un circuito eléctrico. Usan

símbolos lógicos para representar al bloque de función. Las salidas lógicas no requieren la bobina de salida usada en escalera porque esta es representada por una variable asignada a la salida del bloque.

Ejemplo de programación mediante diagrama de funciones:

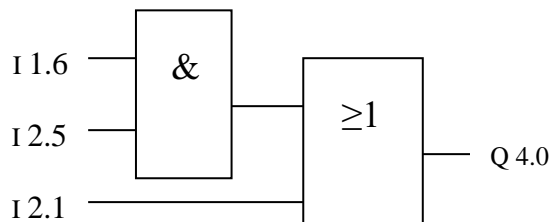


Figura 49: Ejemplo programación bloques

Fuente: (Yugsi, 2009)

Que tiene la misma lógica que el ejemplo anteriormente presentado para el lenguaje AWL.

- Texto estructurado (ST):

Es un lenguaje de alto nivel que permite la programación estructurada, lo que significa que muchas tareas complejas pueden ser divididas en unidades más pequeñas, este utiliza operaciones que se llevan a cabo para diferenciar funciones de control, la parametrización y valores incluidas en el programa.

Ejemplo:

```

IF Manual AND Alarm THEN
    Level = Manual_Level;
    Mixer = Start AND NOT Reset
ELSE IF Other_Mode THEN
    Level = Max_level;
ELSE
    Level = (Level_Indic X100)/Scale;
END IF;
  
```


- Grafcet:

Control en un programa. Básicamente, SFC es similar a un diagrama de flujo, en el que se puede organizar los subprogramas o rutinas (programadas en LD, FBD, IL y/o ST) que forman el programa de control. SFC es particularmente útil para operaciones de control secuencial, donde un programa fluye de un punto a otro una vez que una condición ha sido satisfecha (cierta o falsa).

El marco de programación de SFC contiene tres principales elementos que organizan el programa de control:

- Pasos (etapas)
- Transiciones (condiciones)
- Acciones

El programa irá activando cada una de las etapas y desactivando la anterior conforme se vayan cumpliendo cada una de las condiciones. Las acciones se realizarán en función de la etapa activa a la que están asociadas. Por ejemplo, la etapa 1 activa tras arrancar el programa, al cumplirse la "Condición 1", se activará la etapa 2, se desactivará la 1, y se realizará la "Acción 1". Ejemplo de esto:

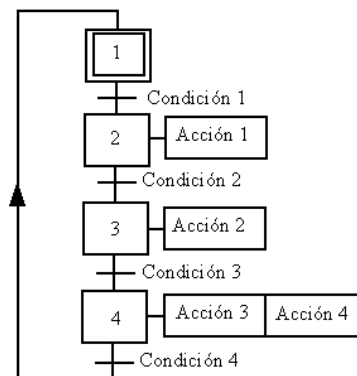
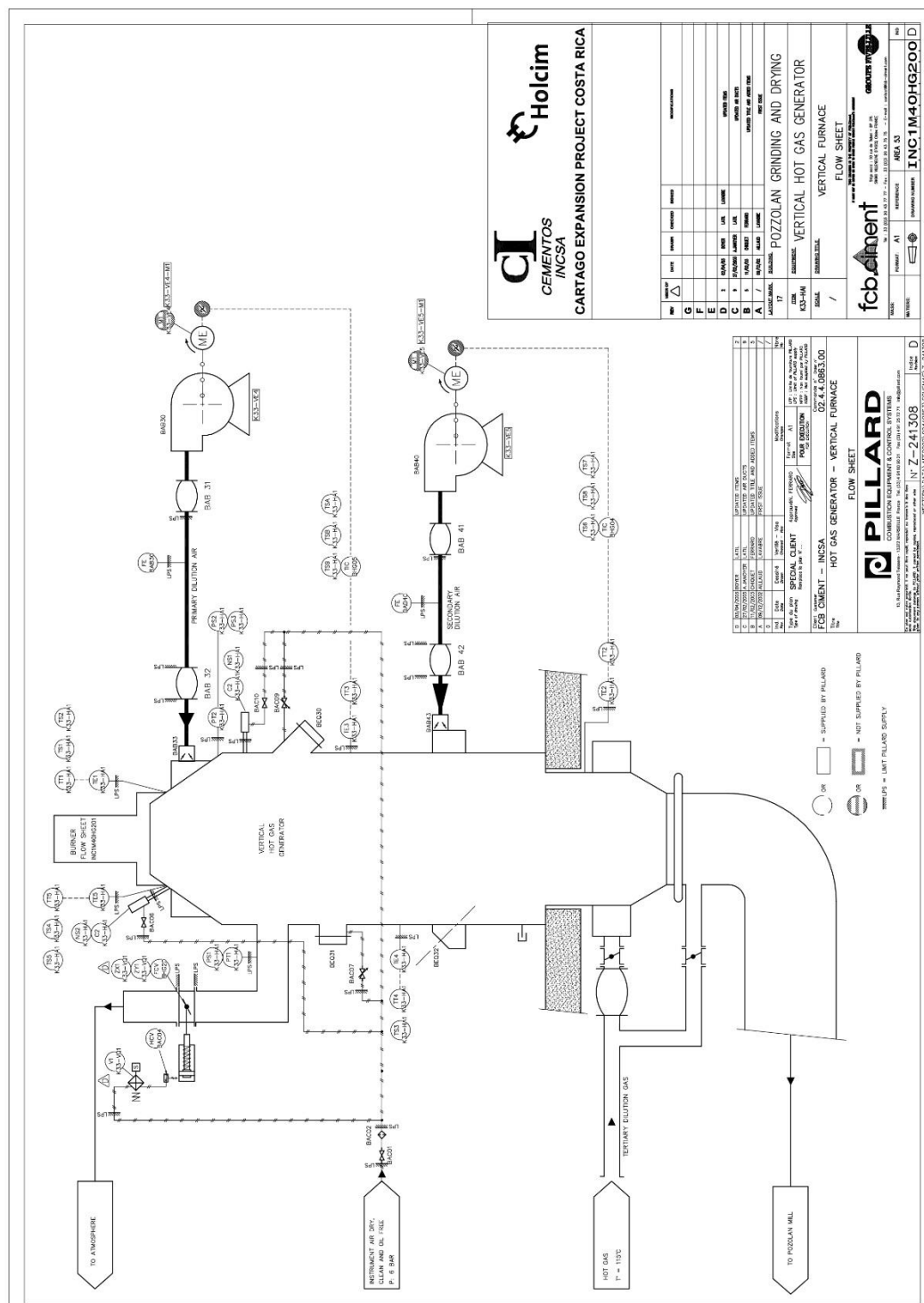


Figura 50. Ejemplo programación Grafcet

Fuente: (Yugsi, 2009)

Anexo 4. Plano de generador de gases calientes

Fuente: Holcim Costa Rica



Fuente: Holcim Costa Rica




Fuente: Holcim Costa Rica

Cde. PILLARD : 02.4.4.0863.00

E						
D						
C	ALFONSO	GLP				APRES redon. aaut OS
B	2010/01/01	DR				APRES VIER charbon
A	22/03/05	FLFEDH				APRES mise En ROUTE
D	10/01/03	D.H.	D.H.			EMISSION ORIGINALE
INDICE	DATE	USUERE	VERIFIE	APPROUVE		RENDU
0						
RA3						
1						
A						

SCHEMA DE REGULATION

ENTREPRISE GENERALE DE CHAUFFAGE INDUSTRIEL



13 RUE RAYMOND TOUSSIER 13003 MARSEILLE - FRANCE

CE PLAN EST NOTRE PROPRIETE . IL NE PEUT ETRE COPIE,
REPRODUIT OU TRANSFERE A DES FINS SANS AUTORISATION ECRITE

SR 507 F.01/12

CE DOCUMENT N'EST PAS UN SCHEMA DE PROGRAMMATION ET NE PEUT ETRE UTILISE POUR REMPLACER LE LISTING EDETE PAR UN AUTOMATE, UN SYSTEME CENTRALISE OU UN REGULATEUR.

SHEET	DESIGNATION	INDICES/REV					SHEET	DESIGNATION	INDICES/REV									
		A	B	C	D	E			O	A	B	C	D	E				
1	COVERSHEET						26											
2	LEGEND OF USED SYMBOLS					X	27											
3	SUMMARY					X	28											
4	DILUTION TEMP. - R1 -					X	29											
5	MONTE EN TEMPERATURE - R1 -					X	30											
6	DILUTION TEMPERATURE - SECOND - R1					X	31											
							32											
8	SET POINT CALCULATIONS - R1 -					X	33											
9							34											
10	AIR FLOW - R2 -					X	35											
							36											
	SPARE						37											
							38											
	SPARE						39											
11	HEAVY-OIL FLOW - R2					X	40											
12	ATOMIZING PRESSURE - R2					X	41											
17							42											
18							43											
19							44											
20							45											
21							46											
22							47											
23							48											
24							49											
25							50											
PILLARD		SUMMARY						SR 507		SHEET 03		REVISION A						

PILLARD

LEGEND OF USED SYMBOLS

SR 507

SHEET 02

REVISION
0

LICEN 038

ANALOG INPUT

ANALOG OUTPUT

LOGICAL INPUT

LOGICAL OUTPUT

LOW SELECTING
= X1 FOR $X1 \leq X2$
= X2 FOR $X1 \geq X2$

HIGH SELECTING
= X1 FOR $X1 \geq X2$
= X2 FOR $X1 \leq X2$

PROPORTIONAL

HIGH THRESHOLD

LOW THRESHOLD

HIGH / LOW LIMITING

SIGNAL SELECTOR
(BASED ON LOGICAL 0 OR 1)

SUMMING

MULTIPLYING

DIVIDING

SQUARE ROOT
EXTRACTION

RAMP

FUNCTION GENERATOR

CALIBRATED PULSE

PULSE GENERATOR

f(t)

A

OR

S R

I

HS
XX

○

○

TIME DELAY

LOGICAL FUNCTION "AND"

LOGICAL FUNCTION "OR"

MEMORY
(S : "SET" MEMORY)
(R : "RESET" MEMORY)

LOGIC INFORMATION
(FROM OR TO P.L.C)

SELECTOR SWITCH
OR PUSHBUTTON

APPARATUS
OR LOCAL INFORMATION

APPARATUS (OR INFORMATION)
ON CUBICLE OR CONSOLE

INVERTER LOGICAL

ANALOG SIGNAL

LOGICAL SIGNAL

PNEUMATIC SIGNAL

CURRENT/PRESSURE
CONVERTER

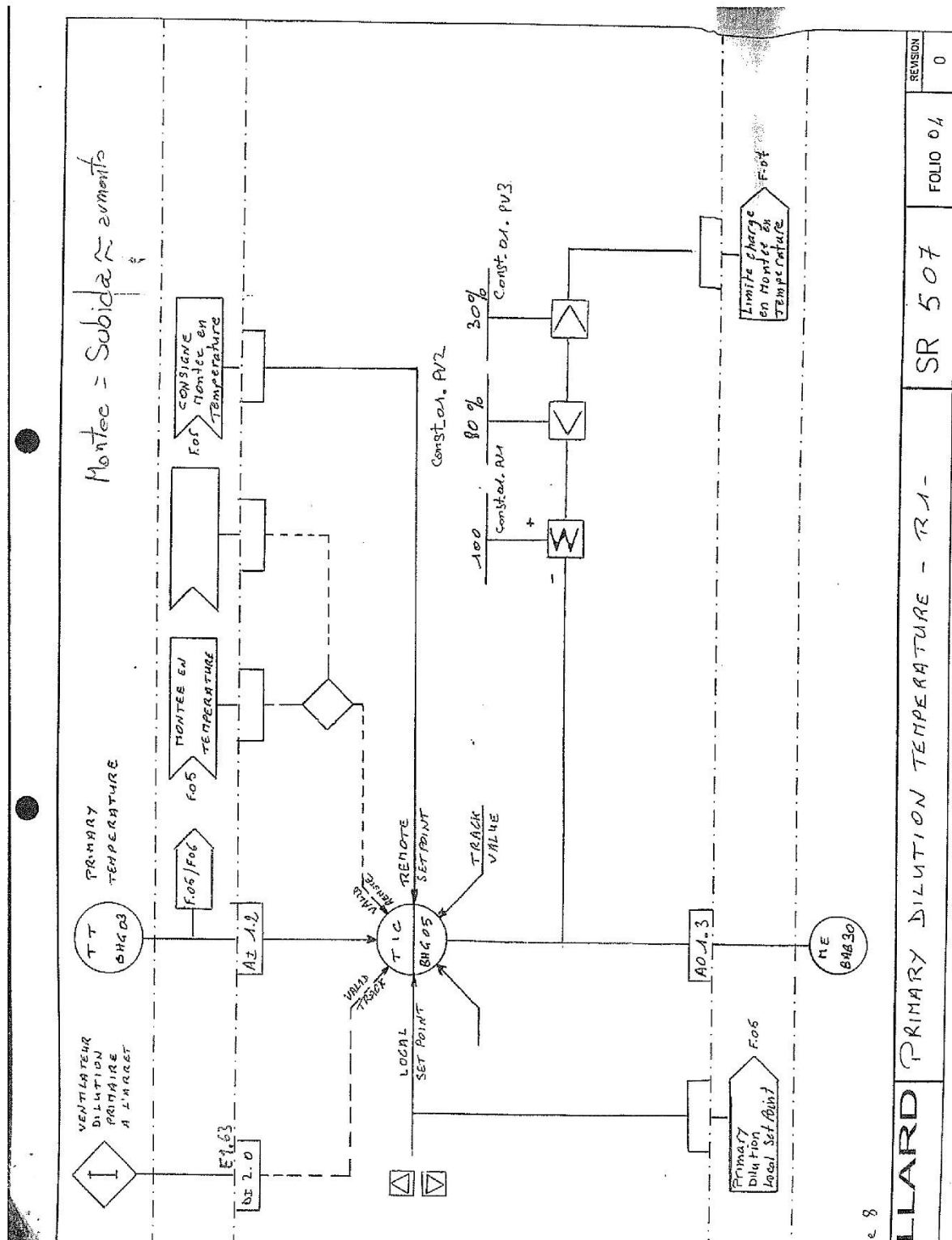
PRESSURE/CURRENT
CONVERTER

PIC

N : MEASURE
C : SET POINT
S : OUTPUT
P : PRESSURE
I : INDICATOR
C : CONTROLLER
F : FLOW
A : ANALYZER
L : LEVEL

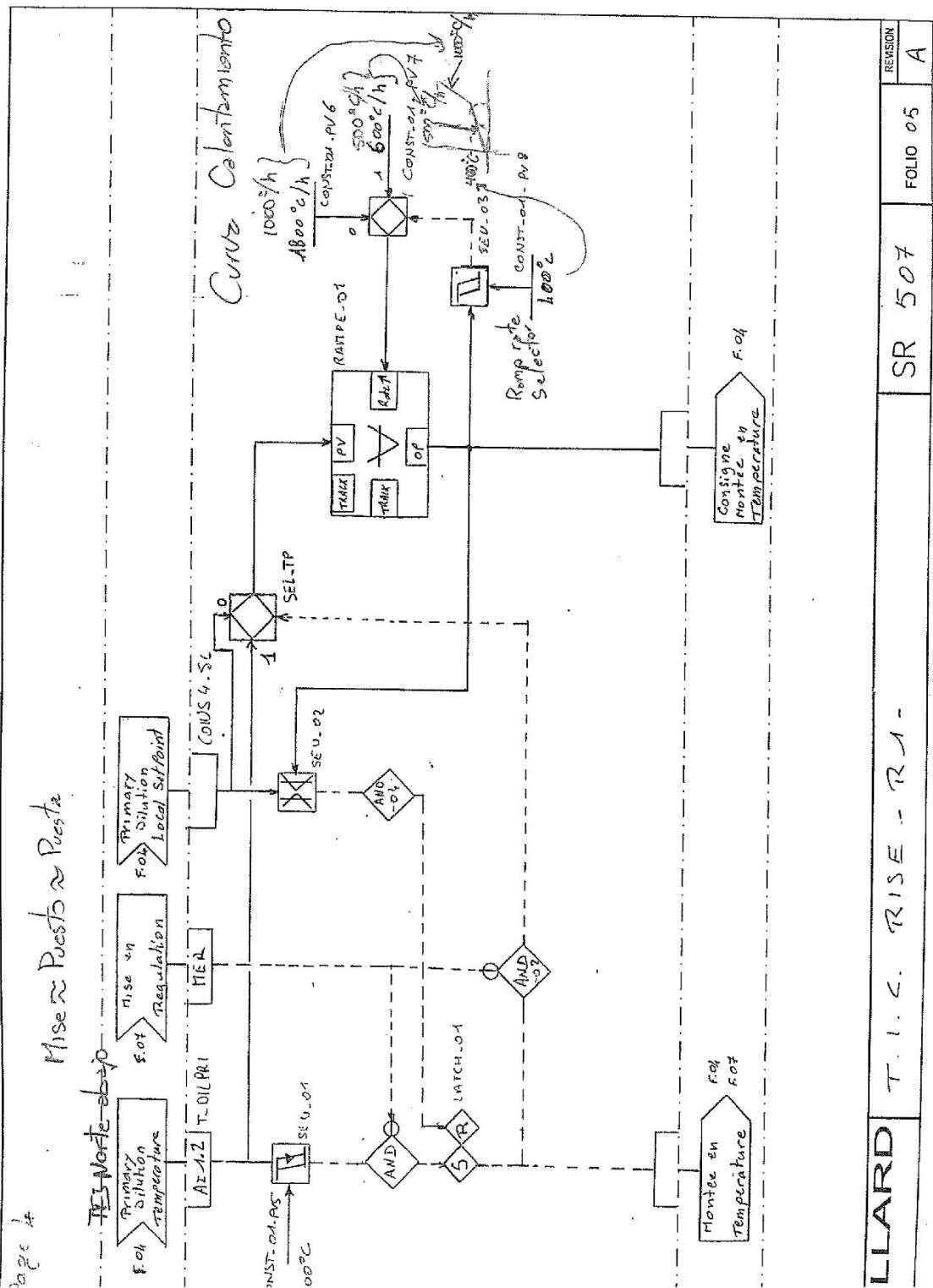
CONFORM TO NORMS :
- ISA SS.1
- ISA SS.2

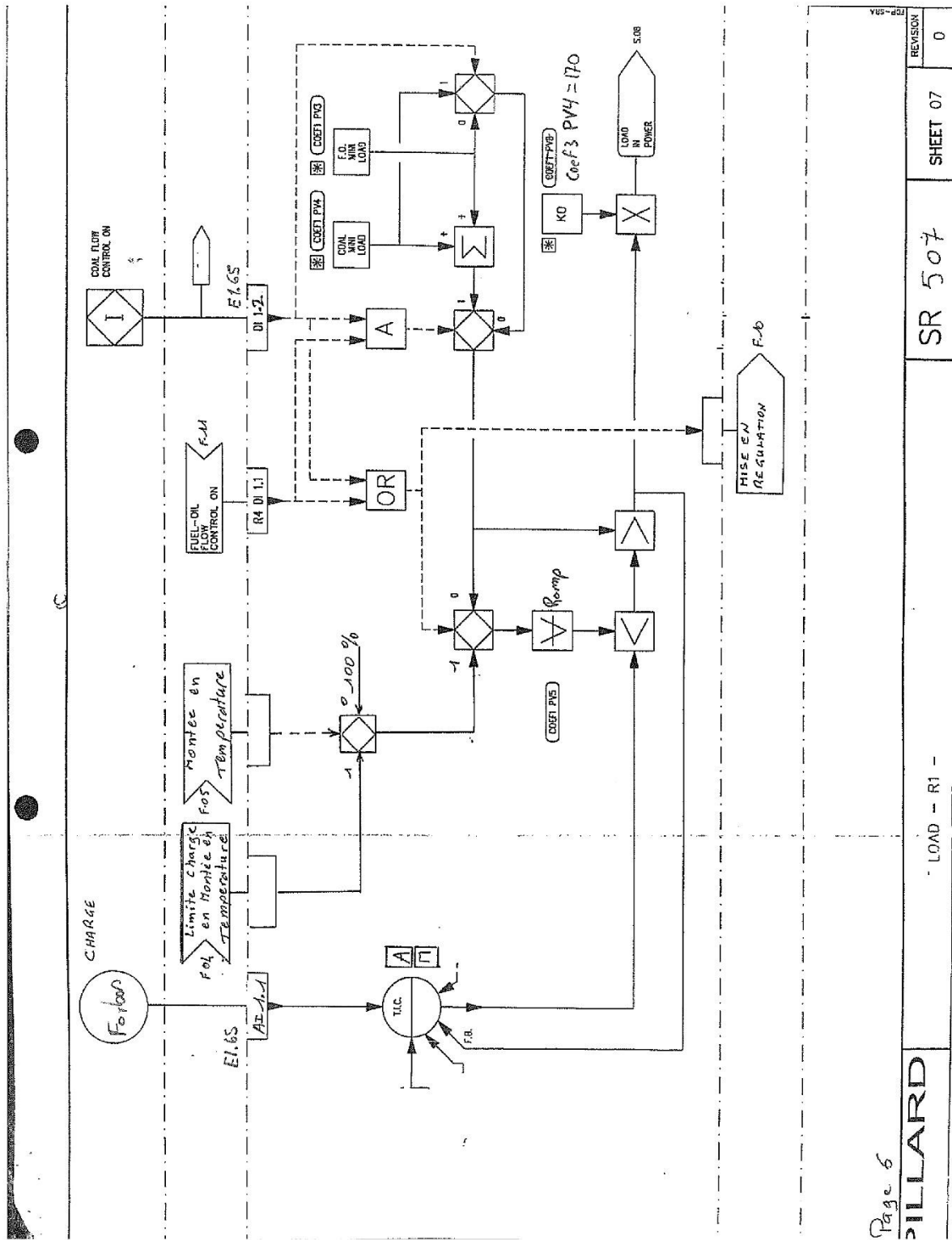
SHEET	DESIGNATION	INDICES/REV					SHEET	DESIGNATION	INDICES/REV									
		A	B	C	D	E			O	A	B	C	D	E				
1	COVERSHEET						26											
2	LEGEND OF USED SYMBOLS					X	27											
3	SUMMARY					X	28											
4	DILUTION TEMP. - R1 -					X	29											
5	MONTE EN TEMPERATURE - R1 -					X	30											
6	DILUTION TEMPERATURE - SECOND - R1					X	31											
							32											
8	SET POINT CALCULATIONS - R1 -					X	33											
9							34											
10	AIR FLOW - R2 -					X	35											
							36											
	SPARE						37											
							38											
	SPARE						39											
11	HEAVY-OIL FLOW - R2					X	40											
12	ATOMIZING PRESSURE - R2					X	41											
17							42											
18							43											
19							44											
20							45											
21							46											
22							47											
23							48											
24							49											
25							50											
PILLARD		SUMMARY						SR 507		SHEET 03		REVISION A						



28

LLARD	PRIMARY DILUTION TEMPERATURE - RA-	SR 507	FOLIO 04	REVISION
				0





Page 6

PILLARD

LOAD - R1 -

SR 507

SHEET 07

REVISION 0

Control Set point de 'Bunker'

Max 1528 kg Bunker
17 MW

Poder Calorico Bunker
40000 KJ/kg

Relación aire/combustible

$$1KW = 1 \frac{KJ}{s}$$

$$\frac{kg}{h} \times \frac{40000 KJ}{kg} \times \frac{h}{3600 seg} = \frac{11.127 KJ}{s}$$

Cálculo para setpoint curva de EA

Si superamos:
maximo 18000 MW/h
con bunker 1250 kg/h \Rightarrow Load 81.81%
aire esteq. 10.9
Constante 1.02

$$\frac{m^3}{h} \times \frac{1.183 kg}{m^3} = \frac{kg}{h}$$

max 16350

Si alta
Flujo Real \rightarrow 20625
aire \rightarrow 13625
Teórico \rightarrow 38625
Si bajo

1.21

Carga en KW

Potencia KW en función del aire estequiométrico y el bunker activados

Si Flujo Real > 4% que flujo teórico se usa set point de Foxboro de lo contrario se usa un set point por el aire disponible

SP Coal

- 1 13907.7
- 2 13907.7
- 3 8986.2

Set Point kg/h Bunker

•



Anexo 7. Hojas Pillard “Prg_39.DBF”

Fuente: Holcim Costa Rica

CARNET DE REGLAGE TUNING NOTEBOOK		Affaire : 02.44.0863.00
		Page : 1 / 13 Rev 0
CLIENT : <i>Client</i>	F.C.B CEMENT	
UTILISATEUR : <i>User</i>	CEMENTOS INCSA COSTA RICA	
N° AFFAIRE PILLARD : <i>Pillard Contract Nb</i>	02.44.0863.00	
TYPE DE GENERATEUR : <i>Generator type</i>	GENERATEUR DE GAZ CHAUDS	
TYPE DE BRULEUR : <i>Burner Type</i>	FIOUL TYPE ZV2 + CHARBON	
TYPE DE REGULATION : <i>Control Principle</i>	MESUREUSE	
FICHER : <i>File</i>	Prg_39.DBF	
BOUCLE 1 : <i>Loop 1</i>	PRIMARY DILUTION TEMPERATURE	
BOUCLE 2 : <i>Loop 2</i>	SECONDARY DILUTION TEMPERATURE	
BOUCLE 3 : <i>Loop 3</i>	LOAD	
BOUCLE 4 : <i>Loop 4</i>	SP dil (ajouté)	
- ACCES AVEC CLE PARTIELLE <i>Partial key access</i>	<input type="checkbox"/> PK	
- ACCES PAR FACE AVANT <i>Access by front screen</i>	<input type="checkbox"/> FS	

J			
I			
H			
G			
F			
E			
D			
C			
B			
A	13/09/2005	LE PIVER Gaël	après MER
O	04/02/03	Ph. EPINETTE	ORIGINE
REV.	DATE	NOM/NAME	REVISION

**CARNET DE REGLAGE
TUNING NOTEBOOK**

Affaire : 02.44.0863.00
Page 2 / 13 Rev 0

BOUCLE 1 <i>Loop</i>	PRIMARY DILUTION TEMPERATURE <i>Loop Indicator</i>	INDICATEUR DE BOUCLE <i>Loop Indicator</i>	PRIM DIL
-------------------------	---	---	----------

AFFECTATION FACE AVANT <i>Front Display Affeciation</i>	
BARGRAPHE GAUCHE <i>Left Bargraph</i>	PRIMARY TEMPERATURE
BARGRAPHE DROITE <i>Right Bargraph</i>	PRIMARY TEMPERATURE SET POINT
BARGRAPHE HORIZONTAL <i>Horizontal Bargraph</i>	PRIMARY AIR FAN CONTROL (ME BAB30)

FONCTIONNEMENT <i>Control Status</i>	YES / NO	CONDITIONS <i>CONDITIONS</i>
PASSAGE MANUEL <i>To Manual Status</i>	NO	
PASSAGE AUTO <i>To Automatic Status</i>	YES	
PASSAGE REMOTE <i>To Remote Status</i>	YES	FOR T.I.C RISE
PASSAGE TRACK <i>To Track Status</i>	YES	PRIMARY AIR FAN STOPPED
PASSAGE MANU FORCE <i>To Forced Manual Status</i>	NO	

ALARMES <i>Alarms</i>	YES / NO	CONDITIONS <i>Conditions</i>
ALARME TRES HAUTE <i>Very High Alarm</i>		
ALARME HAUTE <i>High Alarm</i>		
ALARME BASSE <i>Low Alarm</i>		
ALARME TRES BASSE <i>Very Low Alarm</i>		

**PID
LOOP**

PV-SP	Block <i>Block</i>	Type	Nom <i>Data</i>	Unite <i>Unit</i>	Valeur origine <i>Original value</i>	MER <i>Start-up</i>	
Bande proportionnelle <i>Proportional band</i>	PID 1	3 TERM	XP	%	PK	30	30
Temps d'intégrale <i>Reset time</i>	PID 1	3 TERM	TI	min	PK	1	2
Temps de dérivée <i>Rate time</i>	PID 1	3 TERM	TD	min	PK	0	0
Unite de temps integrale			min		PK		
Unite de temps dérivée			min		PK		
Vitesse limite consigne <i>Set point slew rate</i>	CONS 1	SET POINT	RATE LIM	°C/s	PK	100	
Vitesse limite sortie <i>Output slew rate</i>	MANU 1	MAN STAT	UP RATE	%/s	PK	100	

PILLARD

CARNET DE REGLAGE TUNING NOTEBOOK						Affaire : 02.44.0863.00																																																																	
						Page	3 / 13																																																																
						Rev	0																																																																
BOUCLE <i>Loop</i>	2	SECONDARY DILUTION TEMPERATURE	INDICATEUR DE BOUCLE <i>Loop Indicator</i>	SECO DIL																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="8">AFFECTATION FACE AVANT <i>Front Display Affection</i></td> </tr> <tr> <td colspan="2">BARGRAPHE GAUCHE <i>Left Bargraph</i></td> <td colspan="6">SECONDARY DILUTION TEMPERATURE</td> </tr> <tr> <td colspan="2">BARGRAPHE DROITE <i>Right Bargraph</i></td> <td colspan="6">SECONDARY DILUTION TEMPERATURE SET POINT</td> </tr> <tr> <td colspan="2">BARGRAPHE HORIZONTAL <i>Horizontal Bargraph</i></td> <td colspan="6">SECONDARY AIR FAN CONTROL (ME BAB40)</td> </tr> </table>								AFFECTATION FACE AVANT <i>Front Display Affection</i>								BARGRAPHE GAUCHE <i>Left Bargraph</i>		SECONDARY DILUTION TEMPERATURE						BARGRAPHE DROITE <i>Right Bargraph</i>		SECONDARY DILUTION TEMPERATURE SET POINT						BARGRAPHE HORIZONTAL <i>Horizontal Bargraph</i>		SECONDARY AIR FAN CONTROL (ME BAB40)																																					
AFFECTATION FACE AVANT <i>Front Display Affection</i>																																																																							
BARGRAPHE GAUCHE <i>Left Bargraph</i>		SECONDARY DILUTION TEMPERATURE																																																																					
BARGRAPHE DROITE <i>Right Bargraph</i>		SECONDARY DILUTION TEMPERATURE SET POINT																																																																					
BARGRAPHE HORIZONTAL <i>Horizontal Bargraph</i>		SECONDARY AIR FAN CONTROL (ME BAB40)																																																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 35%;">FONCTIONNEMENT <i>Control Status</i></td> <td style="width: 10%;">YES / NO</td> <td style="width: 55%;">CONDITIONS <i>CONDITIONS</i></td> </tr> <tr> <td>PASSAGE MANUEL <i>To Manual Status</i></td> <td>YES /</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PASSAGE AUTO <i>To Automatic Status</i></td> <td>YES</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PASSAGE REMOTE <i>To Remote Status</i></td> <td>NO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PASSAGE TRACK <i>To Track Status</i></td> <td>YES</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PASSAGE MANU FORCE <i>To Forced Manual Status</i></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>								FONCTIONNEMENT <i>Control Status</i>	YES / NO	CONDITIONS <i>CONDITIONS</i>	PASSAGE MANUEL <i>To Manual Status</i>	YES /		PASSAGE AUTO <i>To Automatic Status</i>	YES		PASSAGE REMOTE <i>To Remote Status</i>	NO		PASSAGE TRACK <i>To Track Status</i>	YES		PASSAGE MANU FORCE <i>To Forced Manual Status</i>																																																
FONCTIONNEMENT <i>Control Status</i>	YES / NO	CONDITIONS <i>CONDITIONS</i>																																																																					
PASSAGE MANUEL <i>To Manual Status</i>	YES /																																																																						
PASSAGE AUTO <i>To Automatic Status</i>	YES																																																																						
PASSAGE REMOTE <i>To Remote Status</i>	NO																																																																						
PASSAGE TRACK <i>To Track Status</i>	YES																																																																						
PASSAGE MANU FORCE <i>To Forced Manual Status</i>																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 35%;">ALARMES <i>Alarms</i></td> <td style="width: 10%;">YES / NO</td> <td style="width: 55%;">CONDITIONS <i>Conditions</i></td> </tr> <tr> <td>ALARME TRES HAUTE <i>Very High Alarm</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ALARME HAUTE <i>High Alarm</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ALARME BASSE <i>Low Alarm</i></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ALARME TRES BASSE <i>Very Low Alarm</i></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>								ALARMES <i>Alarms</i>	YES / NO	CONDITIONS <i>Conditions</i>	ALARME TRES HAUTE <i>Very High Alarm</i>			ALARME HAUTE <i>High Alarm</i>			ALARME BASSE <i>Low Alarm</i>			ALARME TRES BASSE <i>Very Low Alarm</i>																																																			
ALARMES <i>Alarms</i>	YES / NO	CONDITIONS <i>Conditions</i>																																																																					
ALARME TRES HAUTE <i>Very High Alarm</i>																																																																							
ALARME HAUTE <i>High Alarm</i>																																																																							
ALARME BASSE <i>Low Alarm</i>																																																																							
ALARME TRES BASSE <i>Very Low Alarm</i>																																																																							
PID LOOP																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 15%;">PV-SP</th> <th style="width: 10%;">Block <i>Block</i></th> <th style="width: 10%;">Type</th> <th style="width: 10%;">Nom <i>Data</i></th> <th style="width: 10%;">Unite <i>Unit</i></th> <th style="width: 10%;">Valeur origine <i>Original value</i></th> <th style="width: 10%;">MER <i>Start-up</i></th> <th style="width: 10%;"></th> </tr> <tr> <td>Bande proportionnelle <i>Proportional band</i></td> <td>PID 2</td> <td>3 TERM</td> <td>XP</td> <td>%</td> <td>PK</td> <td>30.0</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Temps d'intégrale <i>Reset time</i></td> <td>PID 2</td> <td>3 TERM</td> <td>TI</td> <td>min</td> <td>PK</td> <td>2.5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Temps de dérivée <i>Rate time</i></td> <td>PID 2</td> <td>3 TERM</td> <td>TD</td> <td>min</td> <td>PK</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Unite de temps integrale</td> <td colspan="3">min</td> <td>PK</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Unite de temps dérivée</td> <td colspan="3">min</td> <td>PK</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vitesse limite consigne <i>Set point slew rate</i></td> <td>CONS 2</td> <td>SET POINT</td> <td>RATE LIM</td> <td>°C/s</td> <td>PK</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Vitesse limite sortie <i>Output slew rate</i></td> <td>MANU 2</td> <td>MAN STAT</td> <td>UP RATE</td> <td>%/s</td> <td>PK</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> </table>								PV-SP	Block <i>Block</i>	Type	Nom <i>Data</i>	Unite <i>Unit</i>	Valeur origine <i>Original value</i>	MER <i>Start-up</i>		Bande proportionnelle <i>Proportional band</i>	PID 2	3 TERM	XP	%	PK	30.0	30	Temps d'intégrale <i>Reset time</i>	PID 2	3 TERM	TI	min	PK	2.5	2	Temps de dérivée <i>Rate time</i>	PID 2	3 TERM	TD	min	PK	0	0	Unite de temps integrale		min			PK			Unite de temps dérivée		min			PK			Vitesse limite consigne <i>Set point slew rate</i>	CONS 2	SET POINT	RATE LIM	°C/s	PK	100	100	Vitesse limite sortie <i>Output slew rate</i>	MANU 2	MAN STAT	UP RATE	%/s	PK	100	100
PV-SP	Block <i>Block</i>	Type	Nom <i>Data</i>	Unite <i>Unit</i>	Valeur origine <i>Original value</i>	MER <i>Start-up</i>																																																																	
Bande proportionnelle <i>Proportional band</i>	PID 2	3 TERM	XP	%	PK	30.0	30																																																																
Temps d'intégrale <i>Reset time</i>	PID 2	3 TERM	TI	min	PK	2.5	2																																																																
Temps de dérivée <i>Rate time</i>	PID 2	3 TERM	TD	min	PK	0	0																																																																
Unite de temps integrale		min			PK																																																																		
Unite de temps dérivée		min			PK																																																																		
Vitesse limite consigne <i>Set point slew rate</i>	CONS 2	SET POINT	RATE LIM	°C/s	PK	100	100																																																																
Vitesse limite sortie <i>Output slew rate</i>	MANU 2	MAN STAT	UP RATE	%/s	PK	100	100																																																																
PILLARD																																																																							

**CARNET DE REGLAGE
TUNING NOTEBOOK**

Affaire : 02.44.0863.00
Page 4 / 13 Rev 0

BOUCLE 3 <i>Loop</i>	LOAD	INDICATEUR DE BOUCLE <i>Loop Indicator</i>	LOAD
-------------------------	------	---	------

AFFECTATION FACE AVANT <i>Front Display Affecation</i>	
BARGRAPHE GAUCHE <i>Left Bargraph</i>	LOAD
BARGRAPHE DROITE <i>Right Bargraph</i>	REMOTE LOAD
BARGRAPHE HORIZONTAL <i>Horizontal Bargraph</i>	LOAD

FONCTIONNEMENT <i>Control Status</i>	YES / NO	CONDITIONS <i>CONDITIONS</i>
PASSAGE MANUEL <i>To Manual Status</i>	YES	
PASSAGE AUTO <i>To Automatic Status</i>	YES	
PASSAGE REMOTE <i>To Remote Status</i>	NO	
PASSAGE TRACK <i>To Track Status</i>	NO	
PASSAGE MANU FORCE <i>To Forced Manual Status</i>	NO	

ALARMES <i>Alarms</i>	YES / NO	CONDITIONS <i>Conditions</i>
ALARME TRES HAUTE <i>Very High Alarm</i>	NO	
ALARME HAUTE <i>High Alarm</i>	NO	
ALARME BASSE <i>Low Alarm</i>	NO	
ALARME TRES BASSE <i>Very Low Alarm</i>	NO	

**PID
LOOP**

PV-SP	Block <i>Block</i>	Type	Nom <i>Data</i>	Unite <i>Unit</i>		Valeur origine <i>Original value</i>	MER <i>Start-up</i>	
Bande proportionnelle <i>Proportional band</i>	PID 3	3 TERM	XP	%	PK			
Temps d'intégrale <i>Reset time</i>	PID 3	3 TERM	TI	min	PK			
Temps de dérivée <i>Rate time</i>	PID 3	3 TERM	TD	min	PK			
Unite de temps integrale			min		PK			
Unite de temps dérivée			min		PK			
Vitesse limite consigne <i>Set point slew rate</i>	CONS 3	SET POINT	RATE LIM	Eng/s	PK			
Vitesse limite sortie <i>Output slew rate</i>	MANU 3	MAN STAT	UP RATE	%/s	PK			

PILLARD

CARNET DE REGLAGE TUNING NOTEBOOK						Affaire : 02.44.0863.00	
						Page : 10 / 13	Rev 0
ENTREES DIG DIG. INPUT	DG_IN	NOM BLOC BLOCK NAME	R1_DL_1X	BOUCLE LOOP	1		
DESIGNATION DESIGNATION	TYPE IN TYPE	SITE N° SITE N°	BIT BITCOUNT	INVERSE INVERT			
FUEL INITIATION	VOLTS	1	0				
COAL IGNITION	VOLTS	1	1	NON			
COAL FLOW CONTROL ON	VOLTS	1	2	NON			
BURNER IS OFF	VOLTS	1	3	NON			
ENTREES DIG DIG. INPUT	DG_IN	NOM BLOC BLOCK NAME	R1_DL_2X	BOUCLE LOOP	1		
DESIGNATION DESIGNATION	TYPE IN TYPE	SITE N° SITE N°	BIT BITCOUNT	INVERSE INVERT			
PRIMARY AIR FAN STOPPED	VOLTS	2	0	NON			
SECONDARY AIR FAN STOPPED	VOLTS	2	1	NON			
	VOLTS	2	2				
	VOLTS	2	3				
SORTIES DIG DIG. INPUT	DG_OUT	NOM BLOC BLOCK NAME	R1_DO_1X	BOUCLE LOOP	1		
DESIGNATION DESIGNATION	TYPE OUT TYPE	SITE N° SITE N°	BIT BITCOUNT	INVERSE INVERT			
COAL DISCREPENCY	EXTERNE	1	0	oui			
	EXTERNE	1	1				
TSHH BHG05	EXTERNE	1	2	NON			
TSHH BHG04	EXTERNE	1	3	NON			
SORTIES DIG DIG. INPUT	DG_OUT	NOM BLOC BLOCK NAME		BOUCLE LOOP	1		
DESIGNATION DESIGNATION	TYPE OUT TYPE	SITE N° SITE N°	BIT BITCOUNT	INVERSE INVERT			
	EXTERNE	2	0				
	EXTERNE	2	1				
	EXTERNE	2	2				
	EXTERNE	2	3				

PILLARD _____

**CARNET DE REGLAGE
TUNING NOTEBOOK**

Affaire : 02.44.9863.00
Page : 12 / 13 Rev 0

CONSTANTES CONSTANTS	TYPE : AN_CONN	NOM BLOC : BLOCK NAME :	CONST_01	BOUCLE N° : LOOP N° :	1
-------------------------	-------------------	----------------------------	----------	--------------------------	---

Yellow= engineer access

Variable Data	Unite Unit		Valeur origine Original value	MER Startup			
CONST=100	PV1	%	100	100			
MAX LIM LOAD	PV2	%	80	30			
MIN LIM LOAD	PV3	%	PK	30	17		
PRIM DILUTION TRACK VAL	PV4	%		0	12		
PRIM TEMP TRESHOLD	PV5	°C		300	300		
NORMAL TIC RAMP RATE	PV6	° C/h	PK	1300	1000		
START TIC RAMP RATE	PV7	° C/h	PK	400	500		
TIC RAMP RATE SELECTOR V	PV8	° C	PK	400	400		

CONSTANTES CONSTANTS	TYPE : AN_CONN	NOM BLOC : BLOCK NAME :	CONST_02	BOUCLE N° : LOOP N° :	2
-------------------------	-------------------	----------------------------	----------	--------------------------	---

Variable Data	Unite Unit		Valeur origine Original value	MER Startup			
TSH BHG 05	PV1	°C	PK	1200	1200		
TSL BHG 05	PV2	°C	PK	1000	1000		
TSHH BHG 05	PV3	°C	PK	1250	1300		
TSHH BHG 04	PV4	°C	PK	1000	1000		
TSH BHG 04	PV5	°C	PK	950	950		
TSL BHG 04	PV6	°C	PK	700	700		
	PV7		PK				
SEC DIL PID TRACK VAL	PV8	%	PK	0	5		

CONSTANTES CONSTANTS	TYPE : AN_CONN	NOM BLOC : BLOCK NAME :	CONST_03	BOUCLE N° : LOOP N° :	3
-------------------------	-------------------	----------------------------	----------	--------------------------	---

Variable Data	Unite Unit		Valeur origine Original value	MER Startup			
MAXI CH	PV1	%		100	100		
COAL MIN	PV2	%		20	33		
F.O MIN	PV3	%		20	17		
K0	PV4			170	170		
LOAD RAMP RATE	PV5	%/s		15	2		
0.98	PV6						
LIM AIR FLOW DEVIATION	PV7			1.2	1.3		
	PV8						

CONSTANTES CONSTANTS	TYPE : AN_CONN	NOM BLOC : BLOCK NAME :	CONST_04	BOUCLE N° : LOOP N° :	3
-------------------------	-------------------	----------------------------	----------	--------------------------	---

Variable Data	Unite Unit		Valeur origine Original value	MER Startup			
IGNIT CO	PV1	Kg/h	PK		300		
Q MIN CO	PV2	Kg/h	PK		300		
PCI COAL	PV3	Kj/s	PK	11.127	7.9		
PCI H.O.	PV4	Kj/s	PK	11.127	11.16		
CONST=1.02	PV5		PK		1.02		
Q MAX CO	PV6	%	PK	2270	2300		
PCO COAL	PV7		PK	10.9	7.71		
PCO H.O.	PV8		PK	10.9	10.9		

PILLARD

Anexo 8. Hojas Pillard “Prg_40.DBF”

Fuente: Holcim Costa Rica

CARNET DE REGLAGE TUNING NOTEBOOK		Affaire : 02.44.0863.00																																																	
		Page :	Rev 0																																																
CLIENT :	F.C.B CEMENT																																																		
<i>Client</i>																																																			
UTILISATEUR :	CEMENTOS INCSA COSTA RICA																																																		
<i>User</i>																																																			
N° AFFAIRE PILLARD :	02.44.0863.00																																																		
<i>Pillard Contract Nb</i>																																																			
TYPE DE GENERATEUR :	GENERATEUR DE GAZ CHAUDS																																																		
<i>Generator type</i>																																																			
TYPE DE BRULEUR :	FIOL TYPE ZV2 + CHARBON																																																		
<i>Burner Type</i>																																																			
TYPE DE REGULATION :	MESUREUSE																																																		
<i>Control Principle</i>																																																			
FICHER :	Prg_40.DBF																																																		
<i>File</i>																																																			
BOUCLE 1 :	AIR FLOW																																																		
<i>Loop 1</i>																																																			
BOUCLE 2 :	HEAVY OIL FLOW																																																		
<i>Loop 2</i>																																																			
BOUCLE 3 :	ATOMIZIM PRESSURE																																																		
<i>Loop 3</i>																																																			
BOUCLE 4 :																																																			
<i>Loop 4</i>																																																			
- ACCES AVEC CLE PARTIELLE	<input type="checkbox"/> PK																																																		
<i>Partial key access</i>																																																			
- ACCES PAR FACE AVANT	<input type="checkbox"/> FS																																																		
<i>Access by front screen</i>																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr><td>J</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>I</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>H</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>G</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>F</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>E</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>D</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>C</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>B</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>A</td><td>13/09/05</td><td>G. LE PIVER</td><td>apres MER</td></tr> <tr><td>D</td><td>04/02/03</td><td>Ph. EPINETTE</td><td>ORIGINE</td></tr> <tr> <td>REV.</td> <td>DATE</td> <td>NOM/NAME</td> <td>REVISION</td> </tr> </tbody> </table>				J				I				H				G				F				E				D				C				B				A	13/09/05	G. LE PIVER	apres MER	D	04/02/03	Ph. EPINETTE	ORIGINE	REV.	DATE	NOM/NAME	REVISION
J																																																			
I																																																			
H																																																			
G																																																			
F																																																			
E																																																			
D																																																			
C																																																			
B																																																			
A	13/09/05	G. LE PIVER	apres MER																																																
D	04/02/03	Ph. EPINETTE	ORIGINE																																																
REV.	DATE	NOM/NAME	REVISION																																																

CARNET DE REGLAGE TUNING NOTEBOOK						Affaire : 02.44.0863.00	
						Page	2 / 16
						Rev	0
BOUCLE	1	AIR FLOW	INDICATEUR DE BOUCLE	FT AIR			
<i>Loop</i>			<i>Loop Indicator</i>				
AFFECTATION FACE AVANT							
<i>Front Display Affection</i>							
BARGRAPHE GAUCHE		COMBUSTION AIR FLOW MEASURE					
<i>Left Bargraph</i>							
BARGRAPHE DROITE		COMBUSTION AIR FLOW SET POINT					
<i>Right Bargraph</i>							
BARGRAPHE HORIZONTAL		COMBUSTION AIR DAMPER CONTROL (ZC HAB03)					
<i>Horizontal Bargraph</i>							
FONCTIONNEMENT		YES / NO	CONDITIONS				
<i>Control Status</i>		NO	<i>CONDITIONS</i>				
PASSAGE MANUEL		NO					
<i>To Manual Status</i>							
PASSAGE AUTO		NO					
<i>To Automatic Status</i>							
PASSAGE REMOTE		YES	BURNER IN CONTROL MODE				
<i>To Remote Status</i>							
PASSAGE TRACK		YES	BURNER STOPPED OR IN IGNITION				
<i>To Track Status</i>							
PASSAGE MANU FORCE		NO					
<i>To Forced Manual Status</i>							
ALARMES		YES / NO	CONDITIONS				
<i>Alarms</i>		NO	<i>Conditions</i>				
ALARME TRES HAUTE		NO					
<i>Very High Alarm</i>							
ALARME HAUTE		NO					
<i>High Alarm</i>							
ALARME BASSE		NO					
<i>Low Alarm</i>							
ALARME TRES BASSE		NO					
<i>Very Low Alarm</i>							
PID							
LOOP							
PV-SP	Block	Type	Nom Data	Unite Unit	Valeur origine Original value	MER Start-up	
Bande proportionnelle	PID 1	3 TERM	XP	%	PK	80	60
<i>Proportional band</i>							
Temps d'intégrale	PID 1	3 TERM	TI	sec	PK	20	20
<i>Reset time</i>							
Temps de dérivée	PID 1	3 TERM	TD	sec	PK	0	0
<i>Rate time</i>							
Unite de temps integrale		sec			PK		
Unite de temps dérivée		sec			PK		
Vitesse limite consigne	CONS 1	SET POINT	RATE LIM	Nm3/s	PK	100	100
<i>Set point slew rate</i>							
Vitesse limite sortie	MANU 1	MAN UP	STAT RATE	%/s	PK	100	100
<i>Output slew rate</i>							

PILLARD

CARNET DE REGLAGE TUNING NOTEBOOK						Affaire : 02.44.0863.00		
						Page	3 / 16 Rev 0	
BOUCLE <i>Loop</i>	2	HEAVY OIL FLOW	INDICATEUR DE BOUCLE <i>Loop Indicator</i>	FT FUEL				
AFFECTATION FACE AVANT <i>Front Display Affectation</i>								
BARGRAPHE GAUCHE <i>Left Bargraph</i>		HEAVY OIL FLOW MEASURE						
BARGRAPHE DROITE <i>Right Bargraph</i>		HEAVY OIL FLOW SET POINT						
BARGRAPHE HORIZONTAL <i>Horizontal Bargraph</i>		HEAVY OIL FLOW VALVE CONTROL						
FONCTIONNEMENT <i>Control Status</i>		YES / NO	CONDITIONS <i>CONDITIONS</i>					
PASSAGE MANUEL <i>To Manual Status</i>		NO						
PASSAGE AUTO <i>To Automatic Status</i>		NO						
PASSAGE REMOTE <i>To Remote Status</i>		YES	BURNER IN CONTROL MODE					
PASSAGE TRACK <i>To Track Status</i>		YES	BURNER STOPPED OR IN IGNITION					
PASSAGE MANU FORCE <i>To Forced Manual Status</i>		NO						
ALARMES <i>Alarms</i>		YES / NO	CONDITIONS <i>Conditions</i>					
ALARME TRES HAUTE <i>Very High Alarm</i>		NO						
ALARME HAUTE <i>High Alarm</i>		NO						
ALARME BASSE <i>Low Alarm</i>		NO						
ALARME TRES BASSE <i>Very Low Alarm</i>		NO						
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> PID LOOP </div>								
PV-SP	Block <i>Block</i>	Type	Nom <i>Data</i>	Unite <i>Unit</i>		Valeur origine <i>Original value</i>	MER <i>Start-up</i>	
Bande proportionnelle <i>Proportional band</i>	PID 2	3 TERM	XP	%	PK	150	150	
Temps d'intégrale <i>Reset time</i>	PID 2	3 TERM	TI	sec	PK	30	30	
Temps de dérivée <i>Rate time</i>	PID 2	3 TERM	TD	sec	PK	0	0	
Unite de temps integrale		sec			PK			
Unite de temps dérivée		sec			PK			
Vitesse limite consigne <i>Set point slew rate</i>	CONS 2	SET POINT	RATE LIM	Kg/s	PK	100	100	
Vitesse limite sortie <i>Output slew rate</i>	MANU 2	MAN STAT	UP RATE	%/s	PK	100	100	

PILLARD

CARNET DE REGLAGE TUNING NOTEBOOK						Affaire : 02.44.0863.00	
						Page	4 / 16
						Rev	0
BOUCLE	3	ATOMIZIM PRESSED	INDICATEUR DE BOUCLE	PULVE			
<i>Loop</i>			<i>Loop Indicator</i>				
AFFECTATION FACE AVANT							
<i>Front Display Affection</i>							
BARGRAPHE GAUCHE		ATOMIZING PRESSURE MEASURE					
<i>Left Bargraph</i>							
BARGRAPHE DROITE		ATOMIZING PRESSURE SET POINT					
<i>Right Bargraph</i>							
BARGRAPHE HORIZONTAL		ATOMIZING AIR PRESSURE CONTROL VALVE					
<i>Horizontal Bargraph</i>							
FONCTIONNEMENT		YES /	CONDITIONS				
<i>Control Status</i>		NO	<i>CONDITIONS</i>				
PASSAGE MANUEL		NO					
<i>To Manual Status</i>							
PASSAGE AUTO		NO					
<i>To Automatic Status</i>							
PASSAGE REMOTE		YES	HEAVY OIL CONTROLLED ON				
<i>To Remote Status</i>							
PASSAGE TRACK		YES	HEAVY OIL CONTROLLED OFF				
<i>To Track Status</i>							
PASSAGE MANU FORCE		NO					
<i>To Forced Manual Status</i>							
ALARMES		YES /	CONDITIONS				
<i>Alarms</i>		NO	<i>Conditions</i>				
ALARME TRES HAUTE		NO					
<i>Very High Alarm</i>							
ALARME HAUTE		NO					
<i>High Alarm</i>							
ALARME BASSE		NO					
<i>Low Alarm</i>							
ALARME TRES BASSE		NO					
<i>Very Low Alarm</i>							
PID							
LOOP							
PV-SP	Block	Type	Nom	Unite	Valeur origine	MER	
	Block		Data	Unit	Original value	Start-up	
Bande proportionnelle	PID 3	3 TERM	XP	%	PK	30	70
<i>Proportional band</i>							
Temps d'intégrale	PID 3	3 TERM	TI	min	PK	2.5	2.5
<i>Reset time</i>							
Temps de dérivée	PID 3	3 TERM	TD	min	PK	0	0
<i>Rate time</i>							
Unite de temps integrale				min	PK		s
Unite de temps dérivée				min	PK		
Vitesse limite consigne	CONS 3	SET	RATE	Bar/s	PK	100	100
<i>Set point slew rate</i>		POINT	LIM				
Vitesse limite sortie	MANU 3	MAN	UP	%/s	PK	100	100
<i>Output slew rate</i>		STAT	RATE				

PILLARD

CARNET DE REGLAGE TUNING NOTEBOOK						Affaire : 02.44.0863.00	
						Page :	10 / 16 Rev 0
ENTREES DIG. DIG. INPUT	DG_IN	NOM BLOC : BLOCK NAME	R2_DI_1X	BOUCLE : LOOP	1		
DESIGNATION		TYPE	SITE N°	BIT	INVERSE		
DESIGNATION		IN TYPE	SITE N°	BITCOUNT	INVERT		
PREPURGE		VOLTS	1	0			
HEAVY OIL FLOW TAKING IN ACOUNT		VOLTS	1	1			
HEAVY OIL CONTROLLED ON		VOLTS	1	2			
FUEL RECIRCULATION		VOLTS	1	3			
ENTREES DIG. DIG. INPUT	DG_IN	NOM BLOC : BLOCK NAME	R2DI2.X	BOUCLE : LOOP	1		
DESIGNATION		TYPE	SITE N°	BIT	INVERSE		
DESIGNATION		IN TYPE	SITE N°	BITCOUNT	INVERT		
PURGE EN COURS		VOLTS	2	0			
		VOLTS	2	1			
		VOLTS	2	2			
		VOLTS	2	3			
SORTIES DIG. DIG. INPUT	DG_OUT	NOM BLOC : BLOCK NAME	R2_DO_1X	BOUCLE : LOOP	1		
DESIGNATION		TYPE	SITE N°	BIT	INVERSE		
DESIGNATION		OUT TYPE	SITE N°	BITCOUNT	INVERT		
		EXTERNE	1	0	oui		
		EXTERNE	1	1			
FSH EAPR 05		EXTERNE	1	2			
FSL EAPR 05		EXTERNE	1	3			
SORTIES DIG. DIG. INPUT	DG_OUT	NOM BLOC : BLOCK NAME		BOUCLE : LOOP	1		
DESIGNATION		TYPE	SITE N°	BIT	INVERSE		
DESIGNATION		OUT TYPE	SITE N°	BITCOUNT	INVERT		
		EXTERNE	2	0			
		EXTERNE	2	1			
		EXTERNE	2	2			
		EXTERNE	2	3			

PILLARD

Affaire :	02.44.0863.00
Page :	12 / 16 Rev 0

CONSTANTES	TYPE :	NOM BLOC :	CONST_01	BOUCLE N° :	1
CONSTANTS	AN CONN	BLOCK NAME :		LOOP N° :	

	Variable Data	Unit Unit	Valeur origine Original value	MER Startup		
PREPUR. AIR DAM. CTRL VAL	PV1	%	100	100		
AIR COMB FSH VALUE	PV2	Nm3/h	0	11000		
AIR COMB. FSL VALUE	PV3	Nm3/h	0	16000		
STARTING DAMPER POSITION	PV4	%	sans	20		
POSITION WHEN BURNER OFF	PV5	%	ajouté	10		
	PV6					
	PV7					
	PV8					

CONSTANTES	TYPE :	NOM BLOC :	CONST_02	BOUCLE N° :	2
CONSTANTS	AN_CONN	BLOCK NAME :		LOOP N° :	

	Variable Data	Unit	Valeur origine Original value	MCR Starting			
MIN flow FO with COAL	PV1	Kg/h	0	200			
MAX flow fo	PV2	Kg/h	0	1533			
mini position for ignit.	PV3	%	10	50	(unused, start with a flow		
minimum position recirculation	PV4	%	15	50			
MINFO	PV5	kg/h		280			
RATE UP	PV6	%	0	15			
minimum position PULVE	PV7	%	0	20			
%Opening during scavenging	PV8	%		100			

ENGINEER ACCES in yellow

ENGINEER NODED IN YELLOW				

[illegible]

--	--	--	--	--

[illegible]

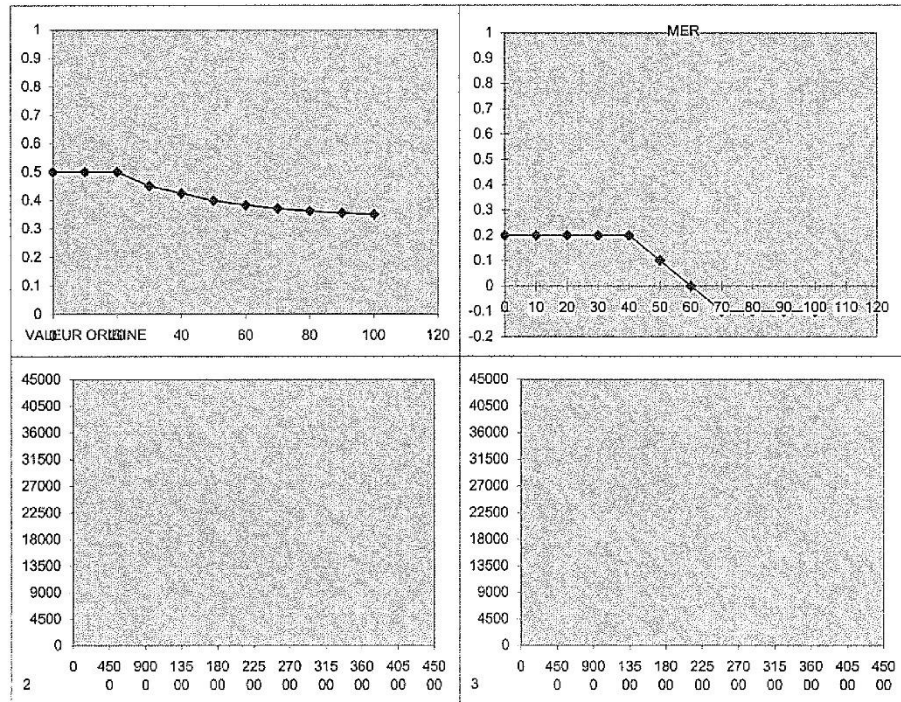
PILLARD

**CARNET DE REGLAGE
TUNING NOTEBOOK**

Affaire : 02.44.0863.00
Page : 13 / 16 Rev 0

BLOCK	EA COAL	TYPE : CHAR	BOUCLE N° : LOOP N° :	1
-------	---------	-------------	--------------------------	---

VALEUR X :				TRUE LOAD		VALEUR Y :				COALAIR EXCES	
X VALUE :						Y VALUE :					
Nom		Valeur origine	MER			Nom		Valeur origine	MER		
Name		Original value	Startup			Name		Original value	Startup		
X1	PK	0	0			Y1	PK	0.5	0.2		
X2	PK	10	10			Y2	PK	0.5	0.2		
X3	PK	20	20			Y3	PK	0.5	0.2		
X4	PK	30	30			Y4	PK	0.45	0.2		
X5	PK	40	40			Y5	PK	0.425	0.2		
X6	PK	50	50			Y6	PK	0.399	0.1		
X7	PK	60	60			Y7	PK	0.383	0		
X8	PK	70	70			Y8	PK	0.371	-0.1		
X9	PK	80	80			Y9	PK	0.362	-0.1		
X10	PK	90	90			Y10	PK	0.355	-0.1		
X11	PK	100	100			Y11	PK	0.35	-0.1		
X12	PK	100	100			Y12	PK	0.35	-0.1		
X13	PK	100	100			Y13	PK	0.35	-0.1		
X14	PK	100	100			Y14	PK	0.35	-0.1		
X15	PK	100	100			Y15	PK	0.35	-0.1		
X16	PK	100	100			Y16	PK	0.35	-0.1		



PILLARD

CARNET DE REGLAGE TUNING NOTEBOOK										Affaire : 02.44.0863.00	
										Page : 14 / 16 Rev 0	
BLOCK			EA HEAVY OIL				TYPE : CHAR			BOUCLE N° : LOOP N° :	
										1	

VALEUR EN X : X VALUE :				TRUE LOAD		VALEUR EN Y : Y VALUE :				H.O. AIR EXCES	
Nom		Valeur origine	MER			Nom		Valeur origine	MER		
Name		Original value	Startup			Name		Original value	Startup		
X1	PK	0	0			Y1	PK	0.5	0.5		
X2	PK	10	10			Y2	PK	0.5	0.5		
X3	PK	20	20			Y3	PK	0.5	0.5		
X4	PK	30	30			Y4	PK	0.45	0.45		
X5	PK	40	40			Y5	PK	0.425	0.39		
X6	PK	50	50			Y6	PK	0.399	0.32		
X7	PK	60	60			Y7	PK	0.383	0.27		
X8	PK	70	70			Y8	PK	0.371	0.23		
X9	PK	80	80			Y9	PK	0.362	0.18		
X10	PK	90	90			Y10	PK	0.355	0.12		
X11	PK	100	100			Y11	PK	0.35	0.04		
X12	PK	100	100			Y12	PK	0.35	0.04		
X13	PK	100	100			Y13	PK	0.35	0.04		
X14	PK	100	100			Y14	PK	0.35	0.04		
X15	PK	100	100			Y15	PK	0.35	0.04		
X16	PK	100	100			Y16	PK	0.35	0.04		

Graph 1: X1 vs Valeur Origine. The curve shows a decreasing trend from 0.5 at 0 to approximately 0.35 at 100.

Graph 2: Y1 vs Valeur Origine. The curve shows a decreasing trend from 0.5 at 0 to 0.04 at 100.

Graph 3: X2 vs Valeur Origine. Empty graph area.

Graph 4: Y2 vs Valeur Origine. Empty graph area.

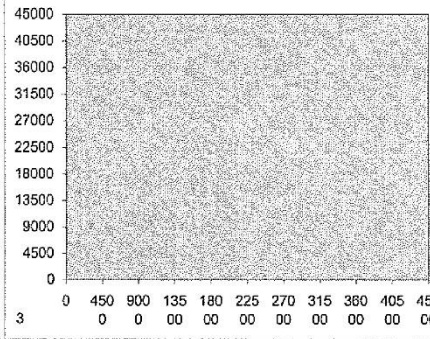
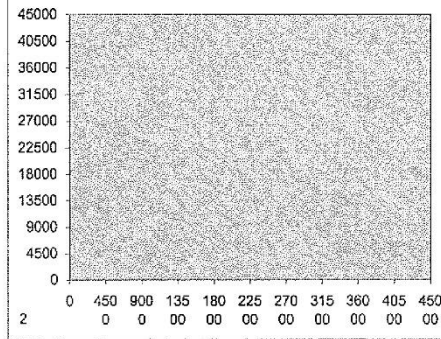
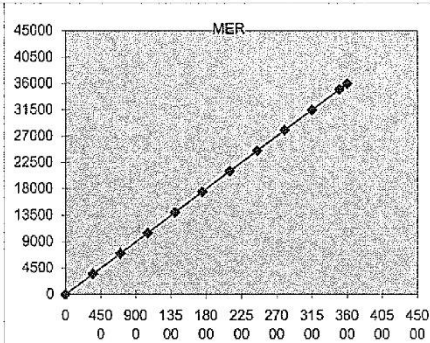
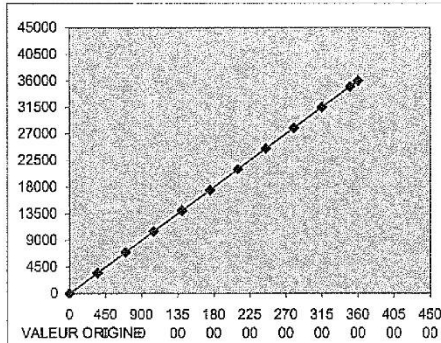
PILLARD

CARNET DE REGLAGE TUNING NOTEBOOK

Affaire : 02.44.0863.00
Page : 15 / 16 Rev 0

BLOCK	F1 X	TYPE : CHAR	BOUCLE N° : LOOP N° :	1
-------	------	-------------	--------------------------	---

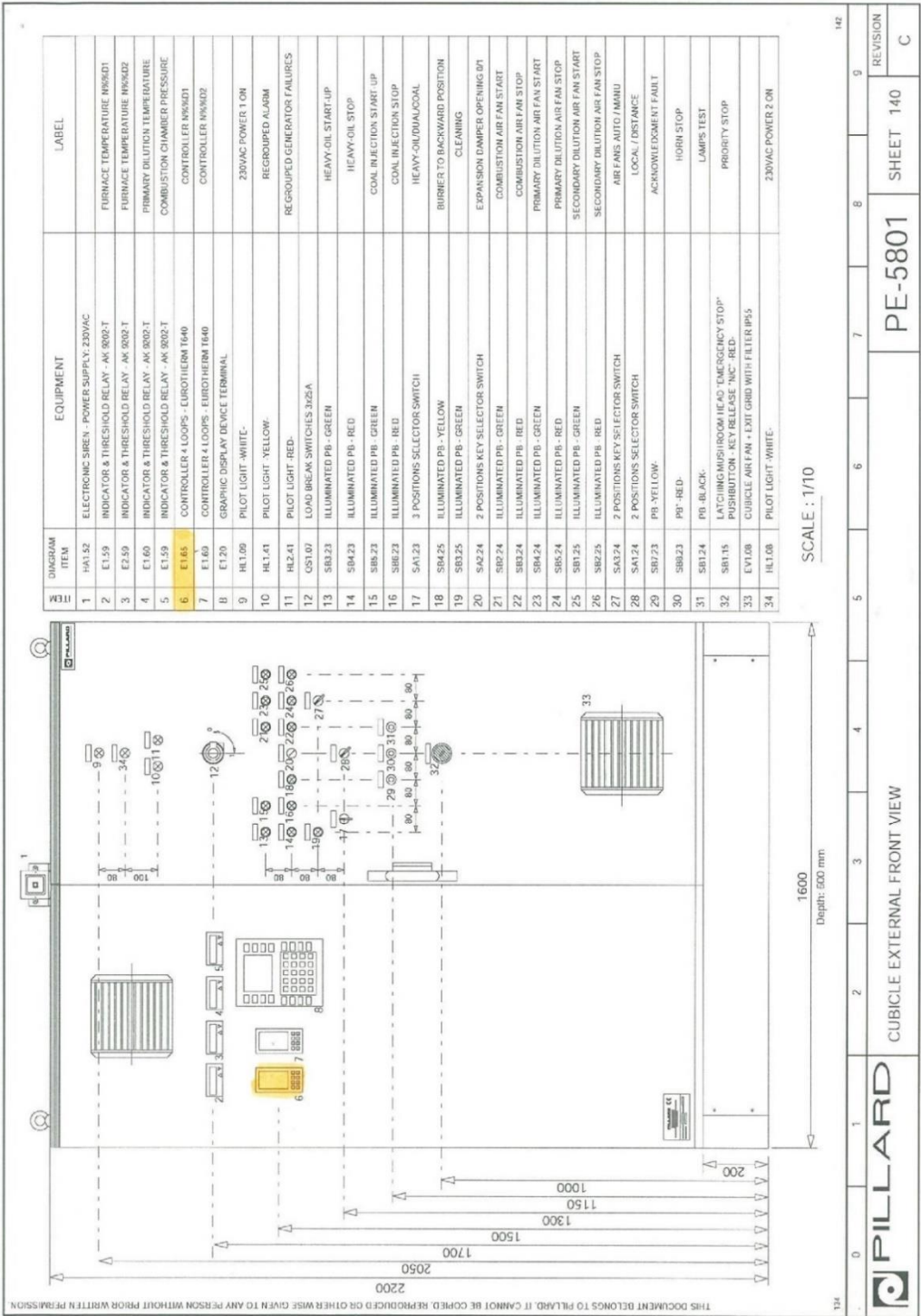
VALEUR X :				AIR FLOW		VALEUR Y :				CORRECT AIR FLOW	
X VALUE :						Y VALUE :					
Nom		Valeur origine	MER			Nom		Valeur origine	MER		
Name		Original value	Startup			Name		Original value	Startup		
X1	PK	0	0			Y1	PK	0	0		
X2	PK	3500	3500			Y2	PK	3500	3500		
X3	PK	7000	7000			Y3	PK	7000	7000		
X4	PK	10500	10500			Y4	PK	10500	10500		
X5	PK	14000	14000			Y5	PK	14000	14000		
X6	PK	17500	17500			Y6	PK	17500	17500		
X7	PK	21000	21000			Y7	PK	21000	21000		
X8	PK	24500	24500			Y8	PK	24500	24500		
X9	PK	28000	28000			Y9	PK	28000	28000		
X10	PK	31500	31500			Y10	PK	31500	31500		
X11	PK	35000	35000			Y11	PK	35000	35000		
X12	PK	36000	36000			Y12	PK	36000	36000		
X13	PK	36000	36000			Y13	PK	36000	36000		
X14	PK	36000	36000			Y14	PK	36000	36000		
X15	PK	36000	36000			Y15	PK	36000	36000		
X16	PK	36000	36000			Y16	PK	36000	36000		

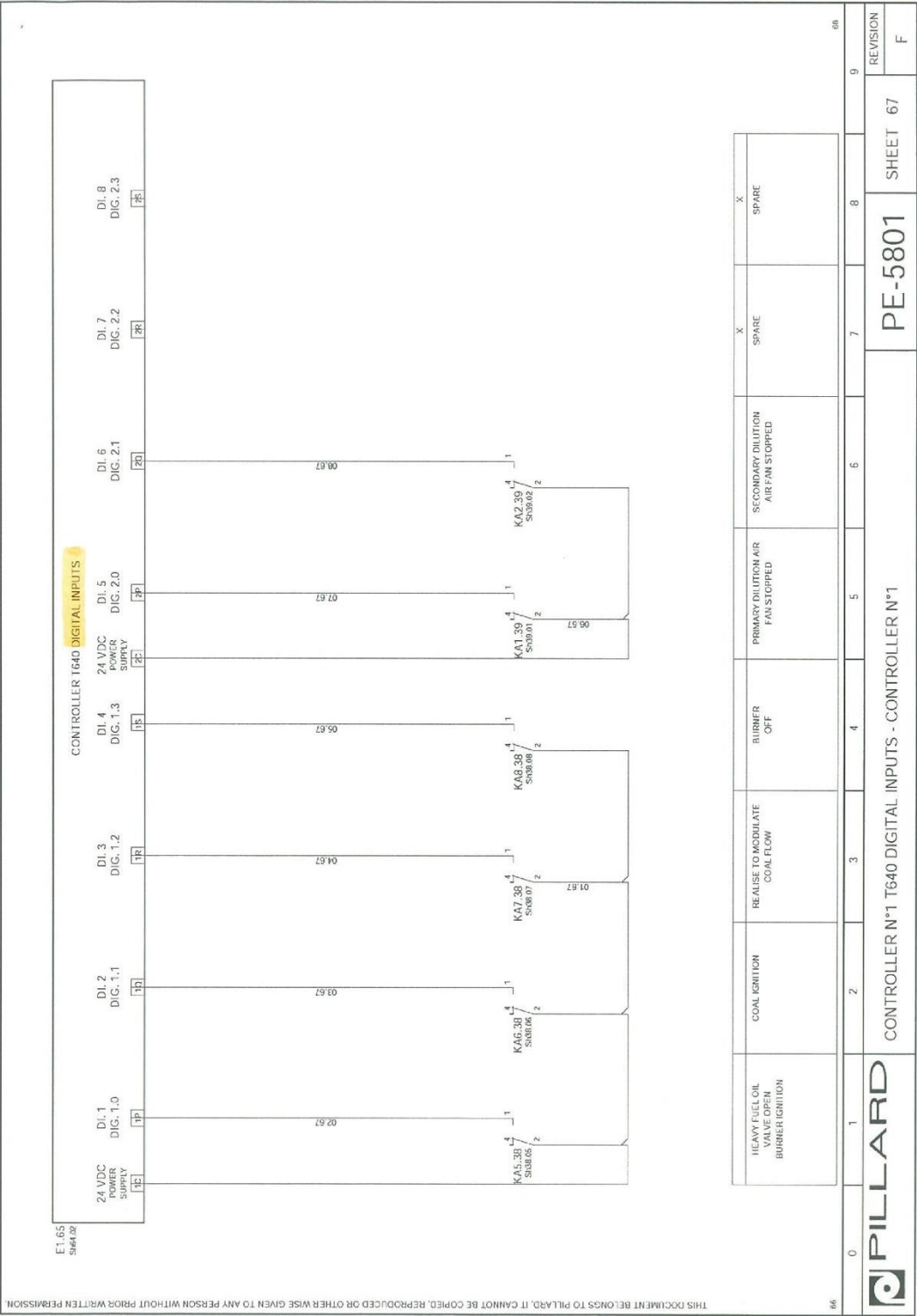


PILLARD

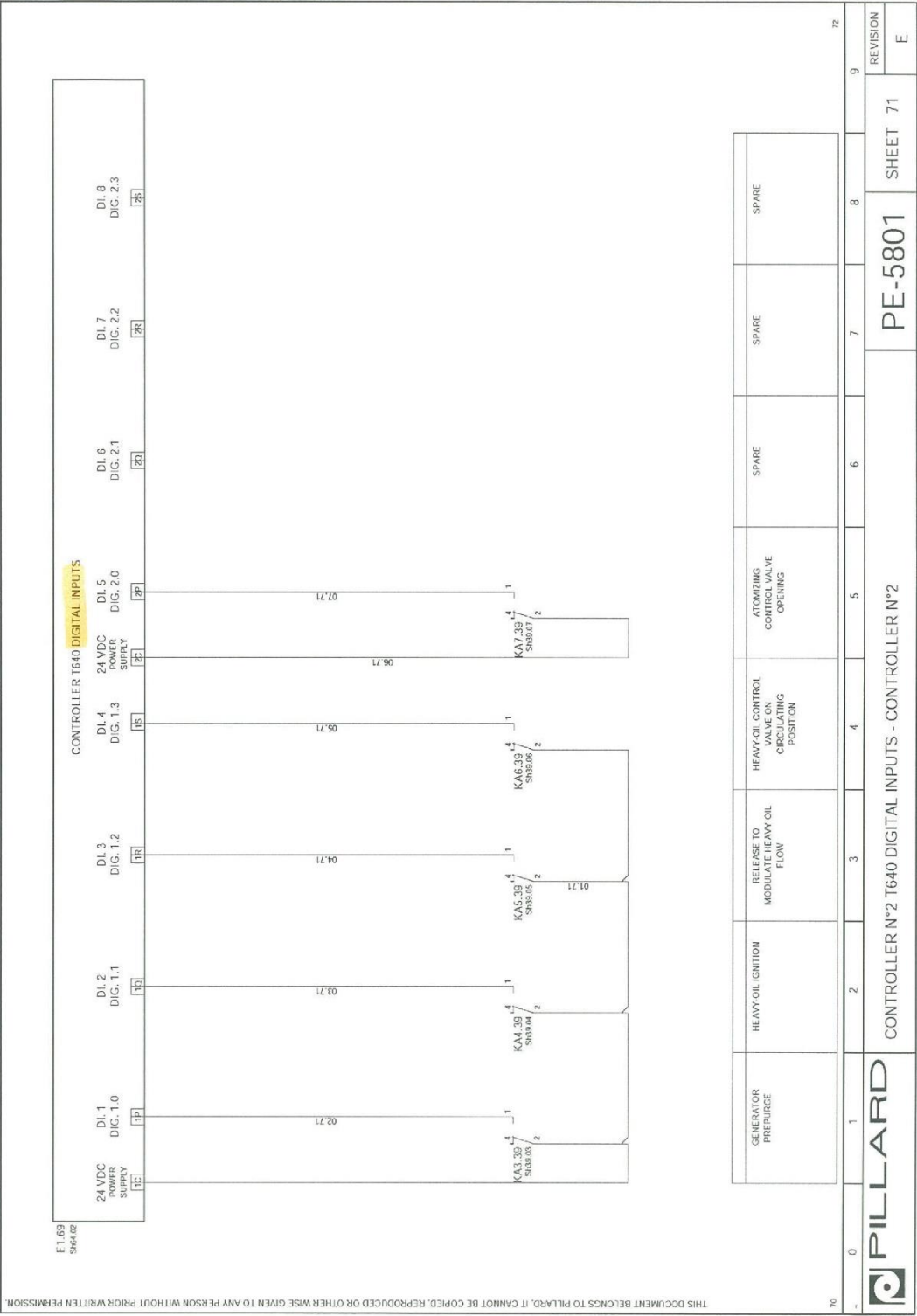
Anexo 9. Planos eléctricos controladores

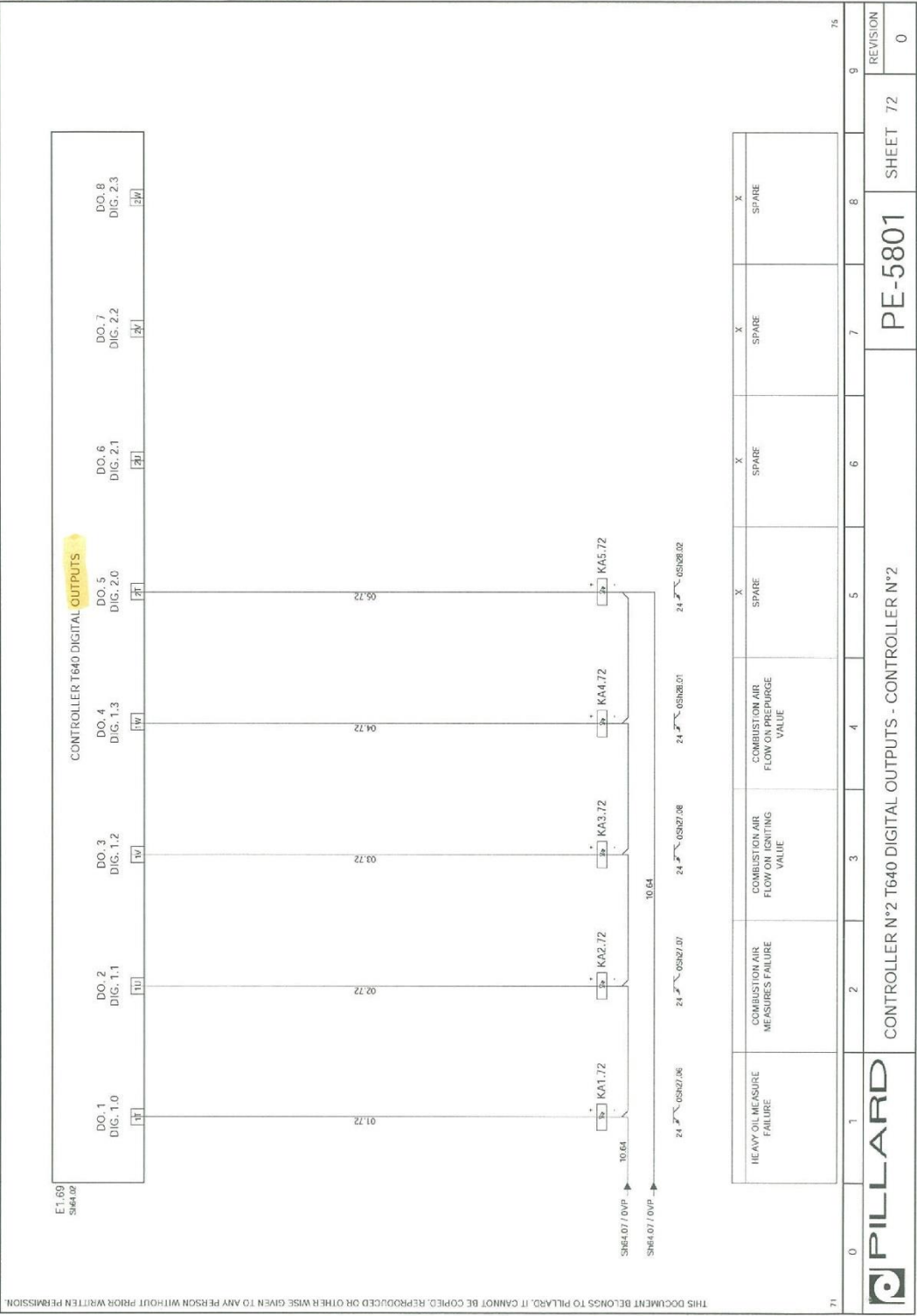
Fuente: Holcim Costa Rica





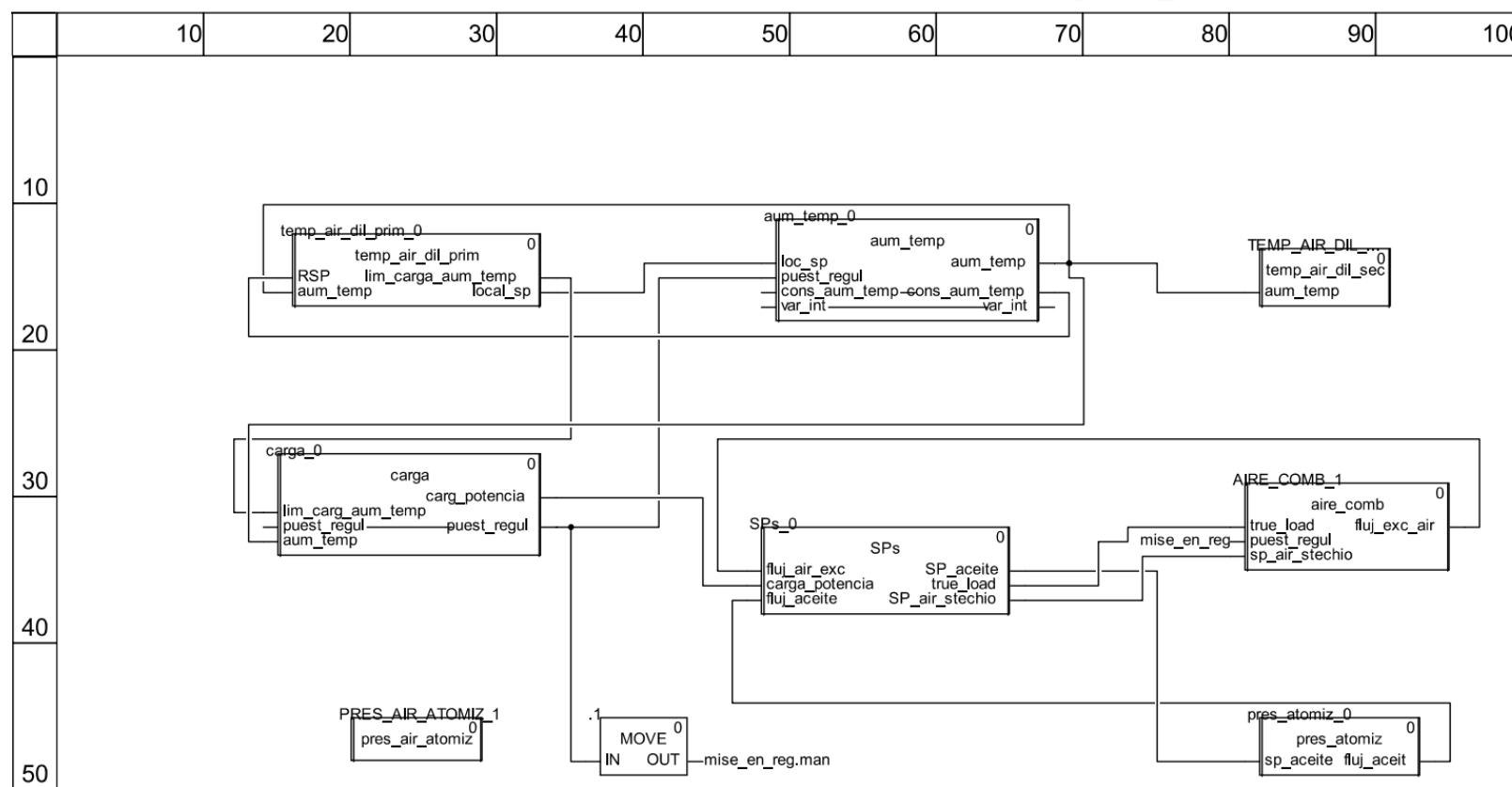
7171





Anexo 10. Diagrama estrategia de control – Normalizado en Unity Pro XL

Diagrama_T640



Fuente: Unity Pro X

Anexo 11. Propiedades del aire a la presión de 1 atm

GAS	c_p y c_v (kJ / kg°K)	c_p y c_v (kJ / m ³ °K)
Oxígeno	$c_p = 0,9203 + 0,0001065 T$ $c_v = 0,6603 + 0,0001065 T$	$c_p = 1,3138 + 0,00015777 T$ $c_v = 0,9429 + 0,00015777 T$
Nitrógeno	$c_p = 1,024 + 0,00008855 T$ $c_v = 0,7272 + 0,00008855 T$	$c_p = 1,2799 + 0,00011067 T$ $c_v = 0,9089 + 0,00011067 T$
Aire	$c_p = 0,9956 + 0,00009299 T$ $c_v = 0,7058 + 0,00009299 T$	$c_p = 1,2866 + 0,0001201 T$ $c_v = 0,9157 + 0,0001201 T$
Vapor de agua	$c_p = 1,833 + 0,0003111 T$ $c_v = 1,3716 + 0,0003111 T$	$c_p = 1,4733 + 0,0002498 T$ $c_v = 1,1024 + 0,0002498 T$
Anhídrido carbónico	$c_p = 0,8654 + 0,0002443 T$ $c_v = 0,6764 + 0,0002443 T$	$c_p = 1,699 + 0,0004798 T$ $c_v = 1,3281 + 0,0004798 T$

Fuente: (Fernández Díez, 2017)

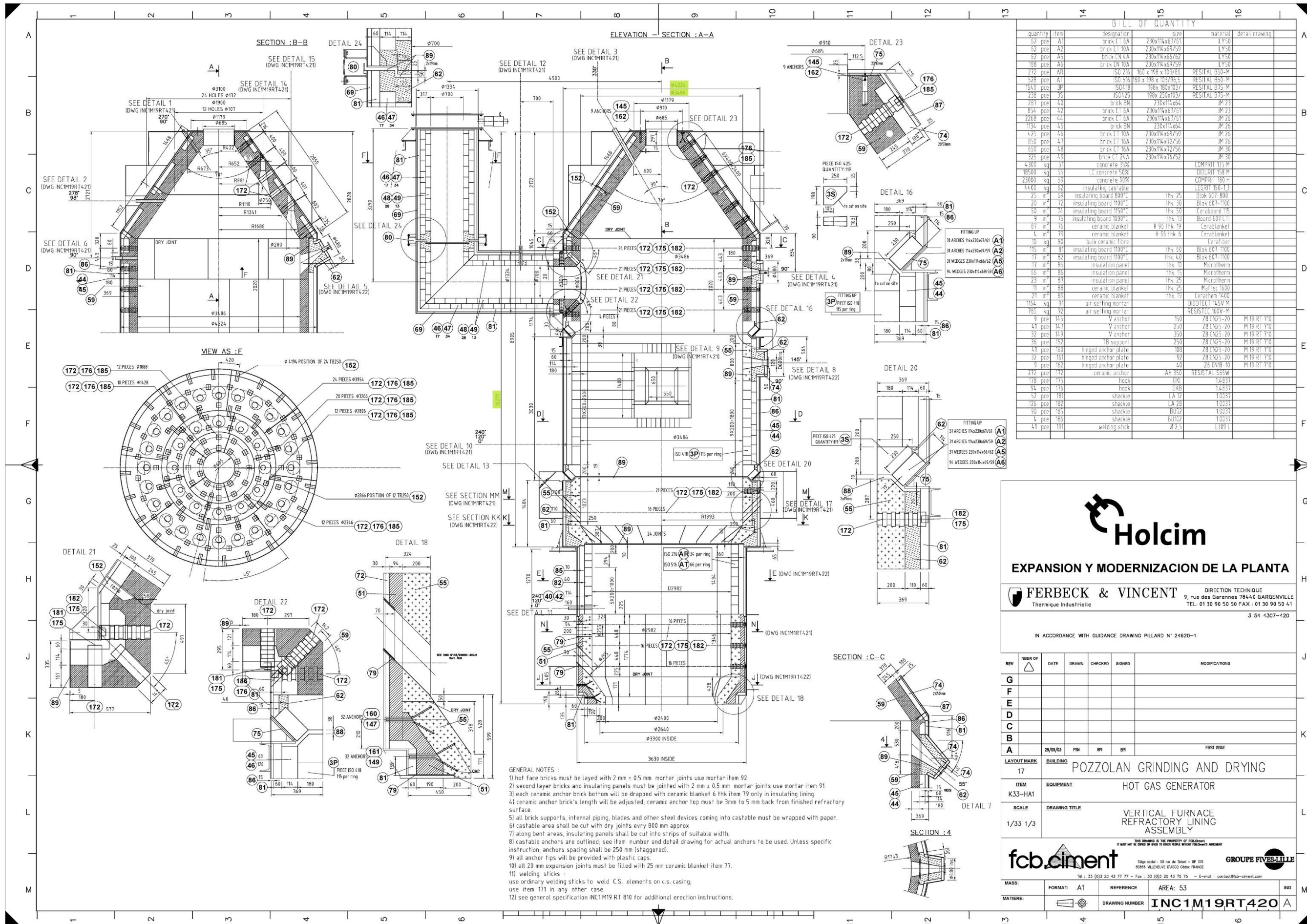
Anexo 12. Constante conductividad térmica para ladrillo refractario

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

		JM 23 125 0.5L 1260	JM 26 140 0.8L 1430	JM 28 150 0.9L 1540	JM 30 160 1.0L 1650	JM 32 170 1.2L 1760
• Clasificación ISO 2245						
• Temperatura de clasificación	°C					
Características a temperatura ambiente (23°C/50% humedad relativa)						
• Densidad media (ASTM C-134-84)	kg/m ³	480	800	890	1020	1250
• Módulo de rotura (ASTM C-93-84)	MPa	1.0	1.5	1.8	2.1	2.1
• Resistencia a la compresión (ASTM C-93-84)	MPa	1.2	1.6	2.1	2.2	3.5
Prestaciones a alta temperatura						
• Contracción lineal permanente inmerso durante 24 h a la temperatura de (ASTM C-210)						
1230°C	%	0.2	-	-	-	-
1400°C	%	-	0.1	-	-	-
1510°C	%	-	-	0.4	-	-
1620°C	%	-	-	-	0.8	-
1730°C	%	-	-	-	-	0.6
• Expansión lineal reversible máxima	%	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1
• Resistencia a la compresión en caliente durante 90 min (% de deformación) (ASTM C-16)						
1100°C at 0.034 MPa (5psi)	%	0.1	-	-	-	-
1260°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	0.2	0.1	-	-
1320°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	-	0.2	0.1	-
1370°C at 0.069 MPa (10psi)	%	-	-	-	0.5	0.2
• Conductividad térmica (ASTM C-182) a la temperatura media de:						
400°C	W/m.K	0.12	0.25	0.30	0.38	0.49
600°C	W/m.K	0.14	0.27	0.32	0.39	0.50
800°C	W/m.K	0.17	0.30	0.34	0.40	0.51
1000°C	W/m.K	0.19	0.33	0.36	0.41	0.53
1200°C	W/m.K	-	0.35	0.38	0.42	0.56
1400°C	W/m.K	-	-	-	-	0.60
• Calor específico 1000°C	kJ/kg.K	1.05	1.10	1.10	1.10	1.10
• Composición química (sobre producto calcinado) (tr = trazas)						
Al ₂ O ₃	%	37.0	58.0	67.1	73.4	77.0
SiO ₂	%	44.4	39.1	31.0	25.1	21.5
Fe ₂ O ₃	%	0.7	0.7	0.6	0.5	0.3
TiO ₂	%	1.2	0.1	0.1	0.1	tr
CaO	%	15.2	0.1	0.1	tr	tr
MgO	%	0.3	0.2	0.1	tr	0.1
Na ₂ O + K ₂ O	%	1.1	1.7	0.9	0.9	0.9

Fuente: (Escuela de Ingeniería de Minas, Energías y Materiales de Oviedo, 2014)

Anexo 13. Dimensiones molino vertical Fuente: Departamento de Proyectos, Holcim Costa Rica



Holcim

EXPANSION Y MODERNIZACION DE LA PLANTA

FERBECK & VINCENT DIRECTION TECHNIQUE
9, rue des Garennes 78440 GARGENVILLE
Thermie Industrielle TEL: 01 30 90 50 50 FAX: 01 30 90 50 41
3 54 4307-420

IN ACCORDANCE WITH GUIDANCE DRAWING PILLAR N° 24620-1

REV	MEM OF	DATE	DRAWN	CHECKED	SIGNED	MODIFICATIONS
G						
F						
E						
D						
C						
B						
A		28/09/03	PSN	BR	BR	FIRST ISSUE

LAYOUT MARK BUILDING 17

ITEM K33-HA1 EQUIPMENT HOT GAS GENERATOR

SCALE DRAWING TITLE 1/33 1/3 VERTICAL FURNACE REFRACTORY LINING ASSEMBLY

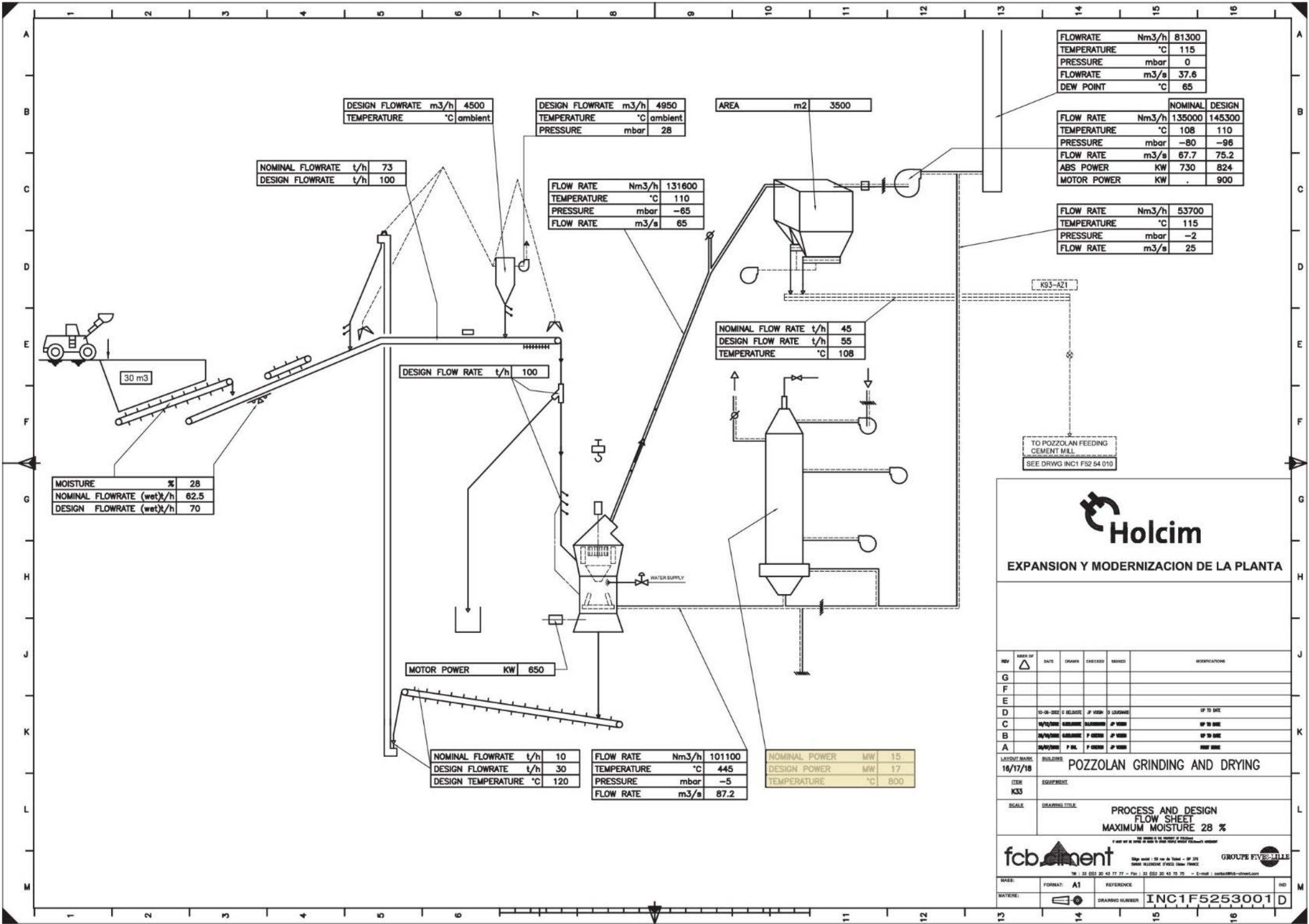
fcbliment Siège social : 50 rue de Tolon - BP 370
59008 VILLENEUVE D'ASCQ Cedex FRANCE
Tel : 33 (0)3 20 43 77 77 - Fax : 33 (0)3 20 43 75 75 - E-mail : contact@fcbliment.com

GROUPE FIVES-LILLE

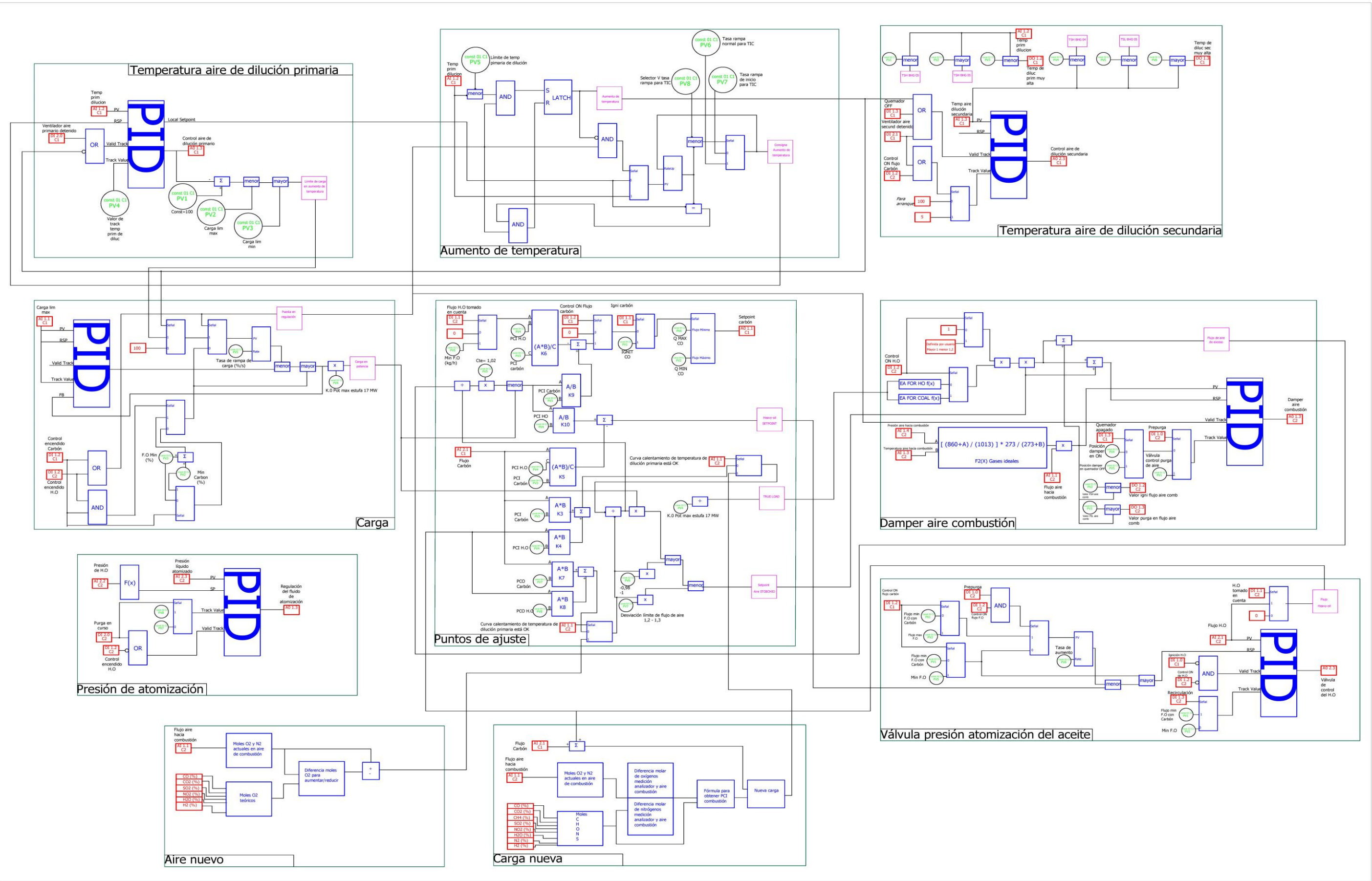
MASS: FORMAT: A1 REFERENCE AREA: 53 IND

MATIERE: DRAWING NUMBER INC1M19RT420 A

Anexo 14. Hoja de flujo de proceso y diseño con humedad al 28% Fuente: Departamento de Proyectos, Holcim Costa Rica

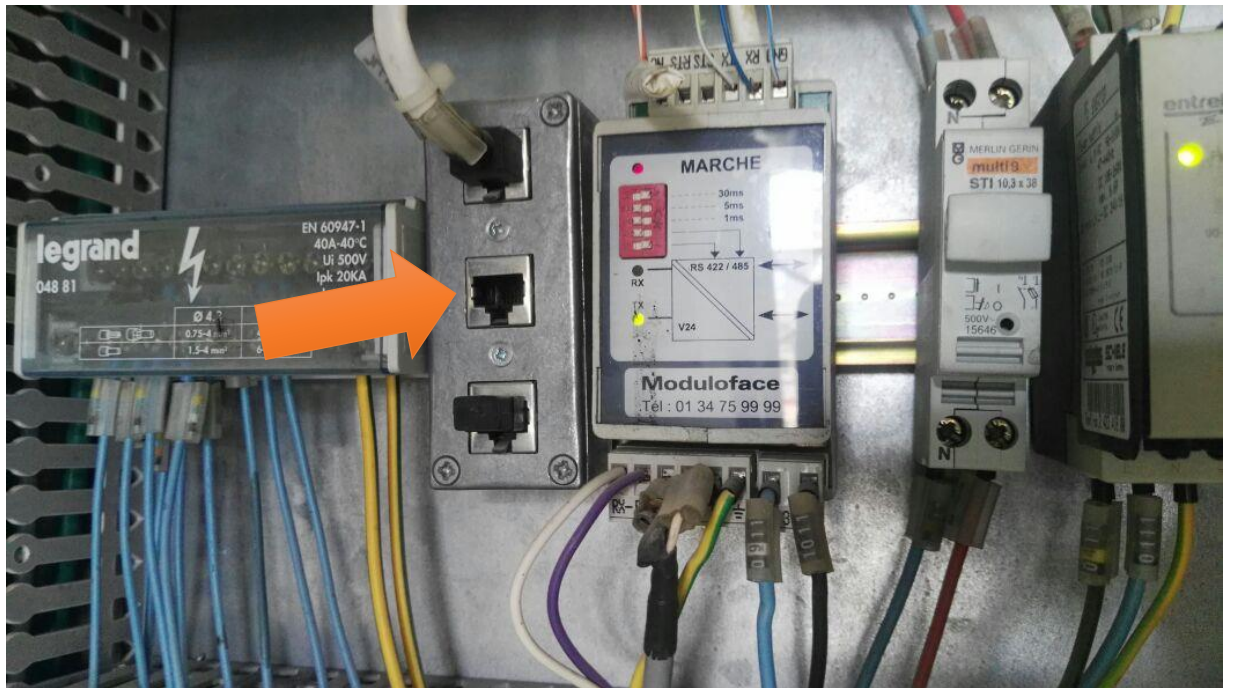


Anexo 15. Propuesta de diagrama de la estrategia de control Fuente: AutoCAD



Apéndices

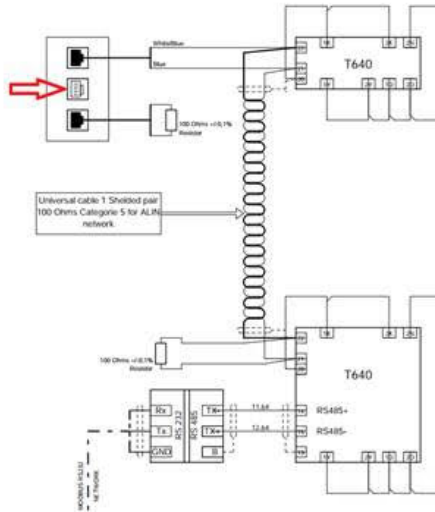
Apéndice 1. Puerto disponible en panel de control



Apéndice 2. Consulta Schneider-Electric por medio del correo

Leonardo,

Thank you for the architecture diagram and confirming that you have an open port (indicated by the red arrow) to connect a computer with the Eurotherm Project Studio (LINTools application).



If your computer has an ARCNET card (adapter) then you would need T555/-/UPDATE/20/CD List \$422, if you require a ARCNET adapter for your computer I would recommend the USB model, the part for that is T555/USB/UPDATE/20/CD List \$1,519.

Regards

Bryan Sutherland | **Schneider Electric** | Industry Business | North America | Senior Manager, Solutions & Services Delivery – Eurotherm, Machine Solutions
Phone: +1 703 724 7396 | Fax: +1 703 7247301 | Mobile: +1 703 554 9173
Email: bryan.sutherland@schneider-electric.com | Site: www.eurotherm.com | Address: 44621 Guilford Drive, Suite 100, Ashburn, Virginia, 20147 United States

Apéndice 3. Cotización software Lintools

Estimado Sr. Vega,

Buen día. Junto con saludar le informo que somos distribuidores autorizados de productos Eurotherm y podemos ofrecer software [LINTools](#).

Este software es parte de un paquete llamado "T555 - Project Studio Software". Se puede ofrecer de acuerdo a siguiente codificación:

T555 - Project Studio Software

Field Option	Description	E/T Code
1 BASE MODEL	Project Studio Software	T555
2 OPTION CARD	No Card PCI Card PCI-X Card USB ARCNET Card	- PCI PCIX USB
3 LICENSE TYPE	Full Software License Update License	LICENSE UPDATE
4 LIN OPC BLOCKS	20 OPC Blocks 100 OPC Blocks 200 OPC Blocks 300 OPC Blocks 600 OPC Blocks 1000 OPC Blocks	20 100 200 300 600 1000
5 DOCUMENTATION	CD Rom with Online Manuals	CD

T555 Project Studio Software incluye:

ITools w/EuroMBus OPC Server, OPC Scope, Review, License Utility, [LINTools 2000](#), LINOPC Server,
Eurotherm Network Explorer, On-Line Books, User Screen Editor for EYCON/T800, Setpoint Program Editor

Quedo atento a sus comentarios. Muchas gracias.

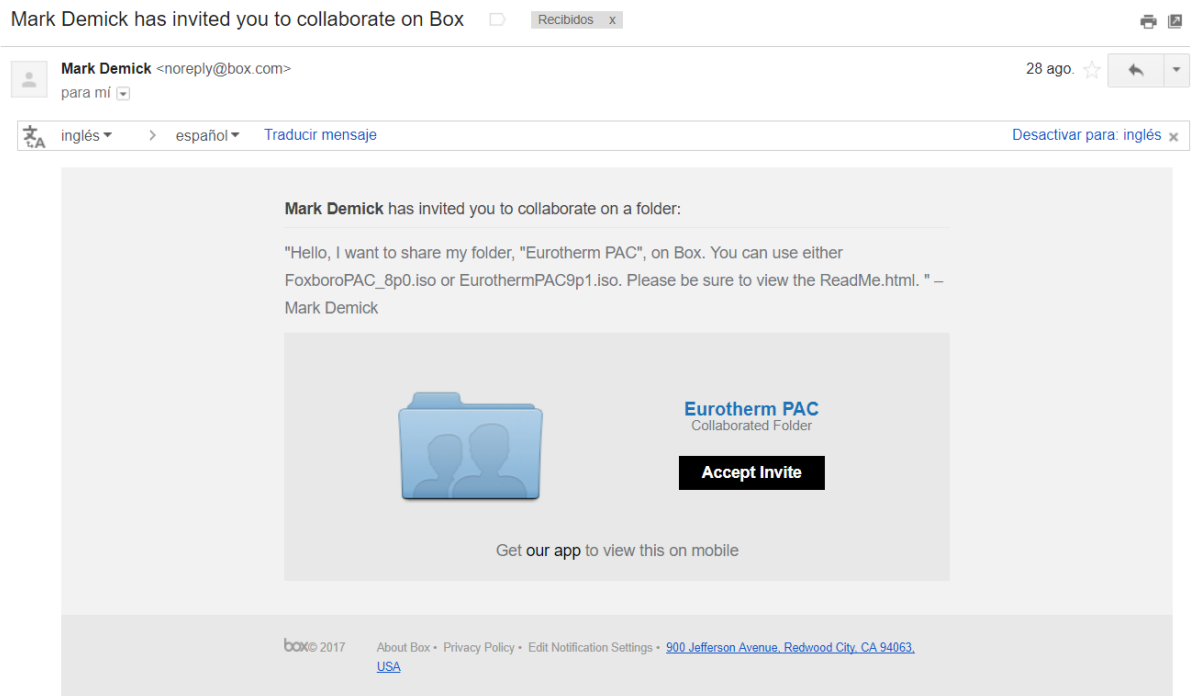
Cordialmente,



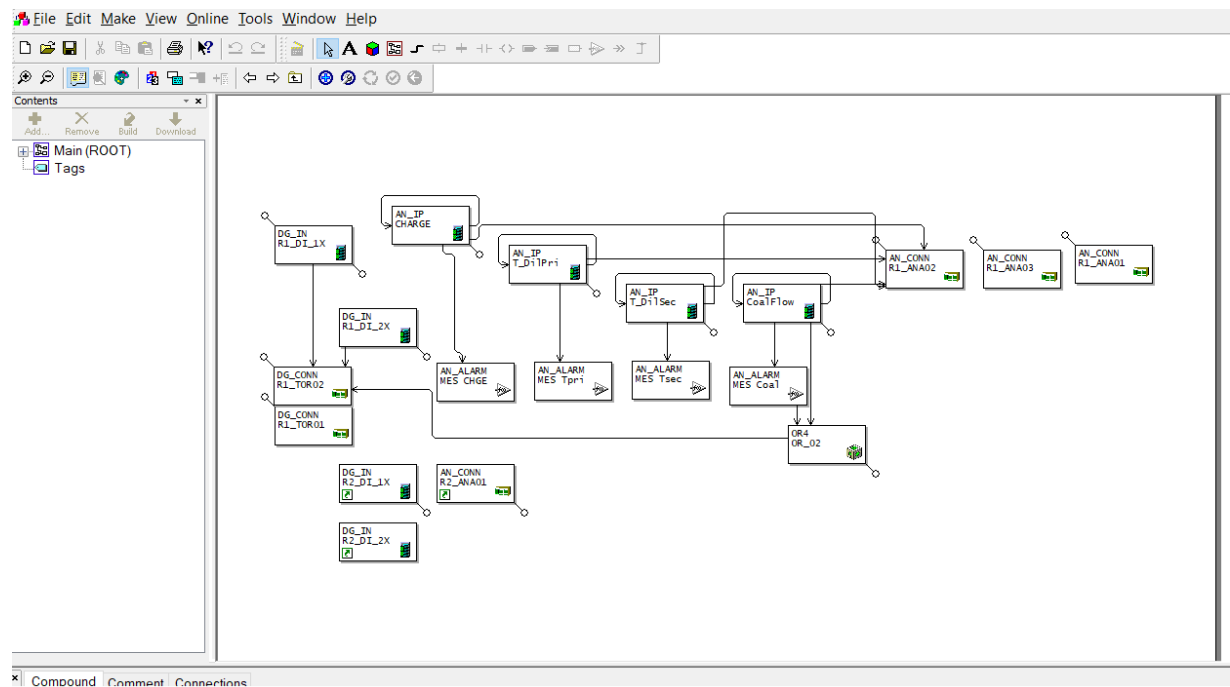
Cristián Vera A.
Gerente de Operaciones
cvera@neodrive.cl

Neodrive Ltda. Av. Providencia #2370. Of. 15. Stgo.
Fono: 02-29340233 - Móvil: 09-62096171

Apéndice 4. Correo invitación software Lintools



Apéndice 5. Parte del programa HGG en LinTools



Apéndice 6. Cálculos eficiencia

$$Q_{entr} = \overline{Flujo_{aceite}} * PCI_{aceite} + \overline{Flujo_{carbón}} * PCI_{carbón}$$

$$Q_{entr} = 605,58 \left[\frac{kg}{h} \right] * 40 \left[\frac{MJ}{kg} \right] + 59,76 \left[\frac{kg}{h} \right] * 25 \left[\frac{MJ}{kg} \right]$$

$$Q_{entr} = 25\,717,4 \left[\frac{MJ}{h} \right] = 7,14 \text{ MW}$$

Según Anexo 11 para aire

$$C_p = 0,9956 + 0,00009299 * T$$

$$C_{p@800\text{ }^{\circ}C} = 0,9956 + 0,00009299 * 800$$

$$C_p = 1,069992 \left[\frac{MJ}{kg * K} \right]$$

$$Q_{sal} = \overline{m_{aire}} * c_p * \Delta T$$

$$Q_{sal} = (densidad_{aire\ normalizada} * \overline{flujo\ normalizado}) * c_{p@800\text{ }^{\circ}C} * (T_{dil\ prim} - T_{amb})$$

$$Q_{sal} = 1,205 \left[\frac{kg}{Nm^3} \right] * 20115 \left[\frac{Nm^3}{h} \right] * 1,069992 * 10^{-3} \left[\frac{MJ}{kg * K} \right] * (794,48\text{ }^{\circ}C - 25\text{ }^{\circ}C)$$

$$Q_{sal} = 19\,873,83 \left[\frac{MJ}{h} \right] = 5,52 \text{ MW}$$

$$\eta = \frac{Q_{sal}}{Q_{entr}}$$

$$\eta = \frac{5,52 \text{ MW}}{7,14 \text{ MW}}$$

$$\eta = 77,31 \%$$

$$P\acute{e}r\acute{d}idas\ en\ paredes = Q_{cond} = k * A * \frac{\Delta T}{L}$$

$$Q_{cond} = k * (\emptyset * \pi * h) * \frac{(T_{dil\ prim} - T_{pared\ externa})}{L} * (2\ paredes)$$

$$Q_{cond} = 0,17 \left[\frac{W}{m * K} \right] * (3,486 [m] * \pi * 12.271 [m]) * \frac{794.48\ ^\circ C - 35\ ^\circ C}{0,738} * 2$$

$$Q_{cond} = 45\ 991,4 [W] = 46 [kW]$$

$$P\acute{e}r\acute{d}idas_{desconocidas} = Q_{entr} - Q_{sal} - Q_{cond}$$

$$P\acute{e}r\acute{d}idas_{desconocidas} = 7\ 140\ kW - 5\ 520\ kW - 46\ kW$$

$$\mathbf{P\acute{e}r\acute{d}idas_{desconocidas} = 1\ 574\ kW}$$

Entradas					Cantidad disponible				Salidas				
	Acetite	Coque	Carbón	Total (kg)	Elemento	Masa molar	Masa (Kg)	Moles / elemento	Compuesto	Moles / especie	Masa molar	Masa (kg)	
Flujo (kg/h)	465,85	0	46,2	512,05	C	12	425	35,40	CO2	35	44	1557,40	
C	87%	86,67%	42,11%	424,74432	H	1	47	47,39	H2O	24	18	426,55	
H	10%	3,21%	2,76%	47,38427	N	14,4	4950	343,77	N2	172	28,8	4950,24	
N	1%	1,66%	1,22%	3,35874	S	32	3	0,11	SO2	0	64	6,90	
S	1%	5,94%	0,41%	3,45037	O	16	1515	94,70					
O	2%	0,97%	9,89%	12,48863	Aire	28,97		222,63	Hollin		12	0,00	
% Cenizas													
Cenizas (kg)	0	0	0	0									
PC (MJ/kg)	44	31	25										
Energía (MJ)	21852		Aire (kg/h)	6450									
			Total (kg/h)	6962			Total (kg/h)	6941				Total (kg/h)	6941


Temperatura llama adiabática (K)					2127	Ajustar Temp				
Compuesto	Densidad (kg/Nm3)	Masa (kg)	Volumen i (Nm3)	% Vol/Vol						
CO2	1.98	1557.4	787.8	14.4						
H2O	0.60	426.5	715.7	13.1						
N2	1.25	4950.2	3960.2	72.5						
SO2	2.93	6.9	2.4	0.04						
Total:		6941	5466	100						
		Densidad	1.270							

Temperatura Masa diluyente					1151.87 18331.01	Ajustar Temp				
Compuesto	Cpi (kJ/kmol / °K)	Masa molar (kg/kmol)	Cp parcial (kJ/kg / K)	Calor latente parcial (MJ)						
CO2	67.35	44	0.34342	5070						
H2O	59.26	16	0.22760	3360						
N2	36.14	28.8	0.89502	13213						
SO2	40.40	64	0.00063	9						
Total:		1.46667		21652						
Delat Q					0					

Temperatura Masa diluyente					1151.87 18331.01	Ajustar Temp				
Compuesto	Cpi (kJ/kmol / °K)	Masa molar (kg/kmol)	Cp parcial (kJ/kg / K)	Calor latente parcial (MJ)						
CO2	55.79	44	0.10773	2275						
H2O	42.02	16	0.06111	1290						
N2	32.05	28.8	0.30050	6345						
SO2	40.40	64	0.00024	5						
O2 aire	35.86	32	0.16156	3411						
N2 aire	32.05	28	0.53672	11333						
Total:		0.63114	24660							
Delat Q					-3007					

Eficiencia	77%
% exceso aire	20%

Aire	Cantidad	
Exceso comb.	1289,93	kg/h
Disolución 1	10100	kg/h



Oxígeno (kg)	2642,46
Nitrógeno (kg)	8595,98

Apéndice 8. Cotización 1 analizador de gases




湖北锐意自控系统有限公司
Hubei Cubic-Ruiyi Instrument Co.,Ltd

Add: No.3, Fenghuang Yuan No.3 Road, Fenghuang Industrial Park, Eastlake Hi-tech Development Zone, Wuhan 430205, China
Tel: 0086-27-81628831 Fax: 0086-27-87401159 http://www.gasalyzer.com.cn

QUOTATION

To: Eng. Adán Mora Viales From: Abby Wu
Email: adan.mora@current-tc.com Email: abby.wu@gasalyzer.com.cn
Company: Current Technologies S. A. Phone: 0086 27 81628831
Address: Quotation No: Q-170420-002
Tel/Fax: +506 8626 2430 Date: 20th April, 2017

Product	Features	Configurations	Unit Price (USD)	Quantity	Amount (USD)
 					

Remarks:

- 1) Delivery terms: EX-Works
- 2) Country of Origin: Wuhan, China
- 3) Validity: 90days from issued date.
- 4) Currency: USD (US\$)
- 5) Payment terms: 50% T/T deposit as order confirmation, balance before shipment.
- 6) Delivery time: Within 35 days after payment
- 7) Warranty Period: One year

Thanks for your Business!

Apéndice 9. Cotización 2 analizador de gases

P.A.S. Technologies, Inc.
9 Calle Pedro Arzuaga W,
t. 787-752-2370 f. 787-768-3260
orders@pastechнологies.com

QUOTE
AAAQ8761

Quoted To:

Tecnologico de Costa Rica
Leonardo Fernández Fernández
Costa Rica

Phone
Fax

Here is the quote you requested.

Summary:

Date Oct 12, 2017
Salesperson Silvestre Rodriguez
Ship Via Freight Collect
Delivery Time 1 to 2 Months
FOB Point Factory
Terms Contact Us
Quote Expiration 30 Days



Line #	Description	Unit Price	Qty	Ext. Price
1	<p>Lancom 4 Portable Gas Analyser (Lancom 4 Starter Kit)</p> <p>High Quality Colour Display - Visualise your data with widescreen display</p> <p>Multiple Language Support - Navigate the menu in English, French, German, Italian, Spanish and Chinese (other languages available upon request).</p> <p>USB Communications Support - Simple interface to PC and data transfer - supports USB Memory Sticks</p> <p>Setup and Measure in Minutes - Instant Readings - Simplicity is built into the Lancom 4 design. Switch on, connect the sample probe and instantly make real-time gas readings.</p> <p>Exceptional Battery Life - Made to Work All Day - Exceptional battery life is key to an exceptional portable gas analyser. The Lancom 4 has dual rechargeable batteries for up to 8 hours continuous use.</p> <p>Integral Sample Conditioning - High performance sample conditioning for high accuracy and repeatability. All in one portable box.</p> <p>Nine Simultaneous Gas Measurements - The Lancom 4 has the capacity and flexibility to meet all measurement requirements in a single instrument.</p> <p>Gases Measured: Oxygen (O2), Carbon Monoxide (CO low range), Nitric Oxide (NO), Nitrogen Dioxide (NO2)</p> <p>Land Instruments, Inc. P/N 810311</p>	\$7,657.93	1	\$7,657.93
2	<p>Lancom 0.3 m Probe Tube</p> <p>SAMPLE PROBE TUBE</p> <p>Ametek Land, Inc. P/N 702.141</p>	\$498.67	1	\$498.67
Subtotal				\$8,156.60
IVU Tax				\$0.00
Shipping				\$0.00
Grand Total				\$8,156.60

Apéndice 10. Cotización medidor de flujo

23/10/2017

Ultrasonic flow meter | Wall mount



Inicio » Flujo y nivel » Ultrasonidos Doppler/tiempo de tránsito » Caudalímetros de ultrasonidos... » FDT21W Series

Wall Mount Ultrasonic Flowmeter

FDT21W Series



Ultrasonic flow meter | Wall mount

€1.845,00 FDT-21W



- Accuracy 1%
- Repeatability 0.2%
- Positive, Negative and Net Totalizer
- 2-Line LCD Display
- Clamp On Transducers
- RS485 Output

Ultrasonidos Doppler/tiempo de tránsito - Ver productos relacionados

Descripción

Find how a [Ultrasonic flow meter](#) works on this link.

FDT-21W ultrasonic flowmeter is designed to measure the fluid velocity of liquid in a full/closed pipe. It is a measurement system which is both easy to install and use.

The FDT-21W operates by measuring the transit time (or time of flight) of an ultrasonic pulse transmitted between two sensors clamped onto the outside of the pipe. These electro-acoustic transducers receive and emit brief ultrasonic pulses through the liquid of the pipe. The transit time of the ultrasonic pulses is proportional to the flow rate of the liquid.

Transducers are vertically placed at both sides of the measured pipe and fastened by means of a clamp. This external mounting means the transducers do not come into contact with the fluid being measured and the line does not have to be broken or drained for installation. The display will quickly show the flow velocity. The FDT-21W can be used for metallic, plastic and rubber lines.

Specifications

Accuracy: $\pm 1\%$ of reading $> (0.2 \text{ m/s}) 0.6 \text{ ft/s}$

Repeatability: 0.2%

Linearity: 0.5%

Response Time: 0 to 999 seconds (user configured)

Velocity: $(\pm 0.01 \text{ to } 30 \text{ m/s}) \pm 0.03 \text{ to } 105 \text{ ft/s}$ bi-directional

Temperature Range: 0 to 160°C (32 to 320°F)

Pipe Size: DN 20 to 100 mm (0.75 to 4") standard [up to DN 6000 mm (236") with optional transducers]

Transducer Frequency: 1 MHz

Rate Units (User Configured): Meter, feet, cubic meter, cubic feet, USA gallon, oil barrel,

USA liquid barrel, imperial liquid barrel, million USA gallons

Totalizer: 7-digit totals for positive, negative and net flow

Liquid Types: Most liquids including clean water, sea water, waste water, chemical liquids, oil, crude oil, alcohol, beer, and more

Suspension Concentration: $\leq 20,000 \text{ ppm}$ (may contain very small amounts of air bubbles)

Pipe Material: All metals, most plastics and fibreglass

Security: Programmable lock-out code

Display: 2 x 16 english letters

Power: 85 to 264 Vac

<https://es.omega.com/ppst/FDT21W.html>

1/2